

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Sistemas Distribuídos num Contexto Industrial no Japão

Paula Cristina dos Anjos Marques

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e Ambiente

Dissertação

Dissertação Orientada por:

Professor João Serra (FCUL)

[2016]

Agradecimentos

A realização desta dissertação não teria sido possível sem o apoio de pessoas que, de diversas formas, contribuíram para a conclusão desta etapa da minha vida.

Em primeiro lugar queria agradecer ao Professor João Serra, orientador desta tese, pela disponibilidade, cuidado, atenção, conselhos e incentivos prestados no decorrer e na revisão da dissertação.

Agradeço aos meus amigos e colegas, principalmente à Sofia Raimundo, Paulo Luís, André Amaral e Andreia Ribeiro, que me acompanharam e auxiliaram durante o trabalho, mostrando sempre motivação, companheirismo e acima de tudo amizade. Desde sempre, estiveram ao meu lado nos bons e maus momentos.

Agradeço aos meus pais e irmão, pelo incentivo e paciência que tiveram comigo durante todo o processo, por terem investido e acreditado sempre em mim.

Assim, deixo a todos o meu agradecimento pela orientação em todo o meu percurso académico, profissional e pessoal. A todos, o meu muito obrigado.

Resumo

As fontes de energia renovável têm ganho mais relevo a nível ambiental e económico, levando ao aumento da independência dos países com o exterior. Contudo, a integração de energia renováveis em elevada escala levanta alguns problemas, uma vez que as mesmas podem ser muito variáveis no tempo como a eólica ou podem ter produções com perfil diário como a fotovoltaica. De forma a ultrapassar estes problemas, e de forma a criar uma maior estabilidade e segurança na rede, tem-se utilizado e estudado formas de poder armazenar a energia em excesso para utilização em períodos de maior necessidade, nomeadamente em baterias.

Com a realização desta dissertação pretende-se criar e analisar vários cenários de produção-consumo de carácter renovável, para um contexto com perfil industrial, e com recurso a um software de modelação MatLab, num local já definido – Gunma, Ota, Japão. São analisados dados reais de produção fotovoltaica e consumos do local tal como a estimativa de produção eólica.

Pretendeu-se assim analisar cenários diferentes para tentar perceber se é possível suprir todos os consumos com as energias renováveis consideradas: fotovoltaica e eólica, com e sem auxílio de sistemas de armazenamento. De forma a facilitar a análise, selecionaram-se quatro semanas de estudo ao longo do ano: julho, fevereiro, março e novembro.

Os resultados demonstraram que para um cenário em que existe apenas energia eólica e fotovoltaica, cenário 1, os consumos não conseguem ser supridos a cada instante sendo o cenário inviável. Os resultados demonstram que a utilização de sistemas de armazenamento de forma a suprir os consumos a cada instante é inevitável, tendo-se efetuado o sub-cenário 1.A – adição de baterias.

O cenário 1.A mostrou-se viável conseguindo-se suprir todos os consumos, havendo uma necessidade máxima de 109MWh de energia, perfazendo um total de 3 baterias, cada uma de 10MW de potência, com uma capacidade de 50MWh.

Palavras-Chave: Energia Fotovoltaica, Energia Eólica, Sistemas de Armazenamento, Baterias

Abstract

Renewable energy sources have gained more environmental and economic importance, leading to an increased energetic independence of the countries. However, the integration of renewable energy in a large scale raises some problems, since they can be highly variable in time, such as wind energy, or may have daily profiles, such as solar energy. In order to overcome these problems and to create a more stable and secure network, the storage of energy of excess energy has been studied and progressively applied.

This dissertation aimed to create and analyse different scenarios of production-consumption with renewable sources, in an industrial context, by using the modeling software MatLab, for a specific location: Gunma, Ota, Japan. Actual data of solar production and local consumption, as the estimation of wind, are analyzed.

Different scenarios were created and studied to understand if it was possible to supply all consumption with the considered renewables: solar and wind energy, with and without the aid of storage systems. For the sake of simplicity, four weeks throughout the year were selected in the present study: July, February, March and November.

The results show that for a scenario where only solar and wind energy is present, scenario 1, the consumption cannot be supplied at every moment, making the scenario unfeasible. The results show that in order to supply the consumption at each moment the use of storage systems is inevitable, suggesting one sub-scenarios: 1.A - addition of batteries.

The scenario 1.A proved to be viable, achieving all the consumption, with a maximum need of 109MWh of energy, making a total of 3 batteries of 10MW each, with a capacity of 50MWh.

Keywords: Solar Energy, Wind Energy, Storage Systems, Batteries

Contents

Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract	iv
Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas.....	vii
Simbologia e Notações.....	viii
1. Introdução	1
1.1. Recursos Renováveis no Japão	2
2. Energia Solar Fotovoltaica	3
3. Energia Eólica	5
4. Armazenamento de Energia	7
5. Caso de Estudo.....	9
5.1. Avaliação dos Dados PV	10
5.2. Avaliação do Potencial Eólico	12
6. Cenários.....	16
6.1. Cenário 1: PV + Eólica.....	16
A – Adição de Baterias.....	20
7. Conclusões	24
7.1. Limitações e Trabalho Futuro	25
8. Referências Bibliográficas	26
Anexos.....	28
Gráficos de avaliação de PV	28
Avaliação da Carga da Bateria	30

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Capacidade global instalada em 2014 e a estimada para 2040. [2]	1
Figura 1.2 - Produção de energia renovável global por região. [3]	1
Figura 1.3 – Distribuição da capacidade renovável instalada no Japão até 2012 [6].	2
Figura 2.1 – Irradiação global horizontal [10].	3
Figura 2.2 - Inclinação optima consoante as estações do ano para Tokyo.	4
Figura 3.1 - Crescimento da capacidade de produção de energia eólica de 1997 até 2015 [14]	5
Figura 3.2 - Parques eólicos [18].	6
Figura 4.1 - Bateria redox de fluxo de Vanádio [21].	7
Figura 4.2 - Sistema de baterias de fluxo de vanádio no Japão [24] [25].	8
Figura 5.1 – Província de Gunma, Ota, Japão, após instalação dos sistemas fotovoltaicos [27].	9
Figura 5.2 - Localização da província de Gunma, Ota, Japão e esquematização do projeto [28].	9
Figura 5.3 - Semana de Verão de 12 a 18 de julho.	10
Figura 5.4 - Semana de Inverno de 1 a 7 de fevereiro.	11
Figura 5.5 - Semana de Primavera de 15 a 22 de março.	11
Figura 5.6 - Semana de Outono de 24 a 30 de novembro.	11
Figura 5.7 - Velocidade do vento para o local de estudo, para o ano de 2014.	12
Figura 5.8 - Velocidade do vento ao longo da semana de julho e respetivo histograma de velocidades.	13
Figura 5.9 - Velocidade do vento ao longo da semana de fevereiro e respetivo histograma de velocidades.	13
Figura 5.10 - Velocidade do vento ao longo da semana de março e respetivo histograma de velocidades.	13
Figura 5.11 - Velocidade do vento ao longo da semana de novembro e respetivo histograma de velocidades.	14
Figura 5.12 - Curva de potência da turbina selecionada [31].	14
Figura 5.13 - Energia eólica útil para a semana de julho, à esquerda, e para a semana de fevereiro, à direita.	15
Figura 5.14 - Energia eólica útil para a semana de março, à esquerda, e para a semana de novembro, à direita.	15
Figura 6.1 - Perfil de produção, consumo e total para a semana de julho, para uma casa.	16
Figura 6.2 - Perfil de produção, consumo e total para a semana de fevereiro, para uma casa.	16
Figura 6.3 - Perfil de produção, consumo e total para a semana de março, para uma casa.	17
Figura 6.4 - Perfil de produção, consumo e total para a semana de novembro, para uma casa.	17
Figura 6.5 - Perfil de produção, consumo e total para a semana de julho, para a província.	18
Figura 6.6 - Perfil de produção, consumo e total para a semana de fevereiro, para a província.	18
Figura 6.7 - Perfil de produção, consumo e total para a semana de março, para a província.	19
Figura 6.8 - Perfil de produção, consumo e total para a semana de novembro, para a província. ...	19
Figura 6.9 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 100%, para a semana de julho.	21
Figura 6.10 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 100%, para a semana de fevereiro.	21
Figura 6.11 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 100%, para a semana de março.	22
Figura 6.12 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 100%, para a semana de novembro.	22
Figura 6.13 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 0%, para a semana de julho.	23
Figura 0.1 - Perfil consumo, PV AC e PV DC, de janeiro a junho.	28
Figura 0.2 - Perfil consumo, PV AC e PV DC, de julho e dezembro.	29
Figura 0.3 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 50%, para a semana de julho.	30
Figura 0.4 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 0%, para a semana de julho.	30

Figura 0.5 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 50%, para a semana de fevereiro.	30
Figura 0.6 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 0%, para a semana de fevereiro.	30
Figura 0.7 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 50%, para a semana de março.	30
Figura 0.8 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 0%, para a semana de março.	30
Figura 0.9 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 50%, para a semana de novembro.	30
Figura 0.10 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 0%, para a semana de novembro.	30

Índice de Tabelas

Tabela 5.1 - Velocidade média do vento para cada semana selecionada.	12
Tabela 5.2 - Características da turbina selecionada.	14
Tabela 5.3 – Energia produzida para cada semana.	15
Tabela 6.1 - Resultados de produção, consumos, défice e excesso totais para uma casa.	18
Tabela 6.2 - Resultados de produção, consumos, défice e excesso totais para toda a província.....	19
Tabela 6.3 - Défice estimados e energia de bateria necessária, para a província.	20
Tabela 6.4 - Energia de banco de baterias necessária tendo em conta o estado de carga da bateria.23	
Tabela 6.5 - Energia de bateria necessária e respectivo número de baterias para cada semana e para a província.....	23

Simbologia e Notações

A	Área Varrida pela Turbina Eólica
C_p	Coefficiente de Potência
$P_{incidente}$	Potência Incidente
P_{util}	Potência Útil
$P_{perdida}$	Potência Perdida
$P_{extraído\ turbina}$	Potência Extraída da Turbina
V	Velocidade do Vento
ρ	Densidade do Ar
AC	Corrente Alterna
DC	Corrente Contínua
GEE	Gases de Efeito de Estufa
JWPA	Japan Wind Power Association
NEDO	New Energy and Industrial Technology Development Organization
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PV	Fotovoltaico
U.S.	Estados Unidos da América

1. Introdução

A energia como recurso no mundo contemporâneo é importante. O mundo como conhecemos hoje depende largamente da produção de energia, e está de tal forma enraizado na nossa sociedade que se tornou o molde da sociedade contemporânea. Especula-se que, com o aumento da população e com o desenvolvimento de países subdesenvolvidos, o consumo energético aumente, figura 1.1 [1].

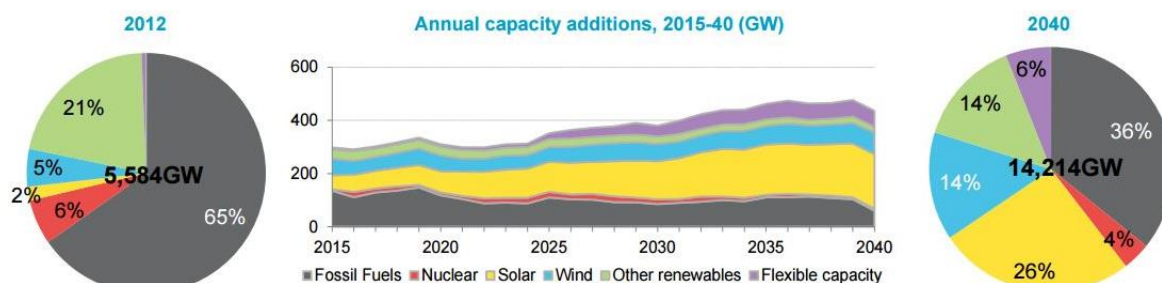


Figura 1.1 - Capacidade global instalada em 2014 e a estimada para 2040. [2]

Desde a revolução industrial que a sociedade se tornou dependente da queima de combustíveis fósseis como o petróleo, o carvão e o gás natural para a produção de energia. Todos os recursos não renováveis são finitos, estando sujeitos a eventuais mudanças repentinas de preço como se tem vindo a verificar no caso do petróleo e seus derivados.

De forma a tornar os países menos dependentes destes recursos, mas também devido a vantagens ambientais, tem-se verificado um aumento de energia produzida a partir de fontes renováveis como o vento, o sol, a água e o calor interno da terra, como se pode ver na figura 1.2.

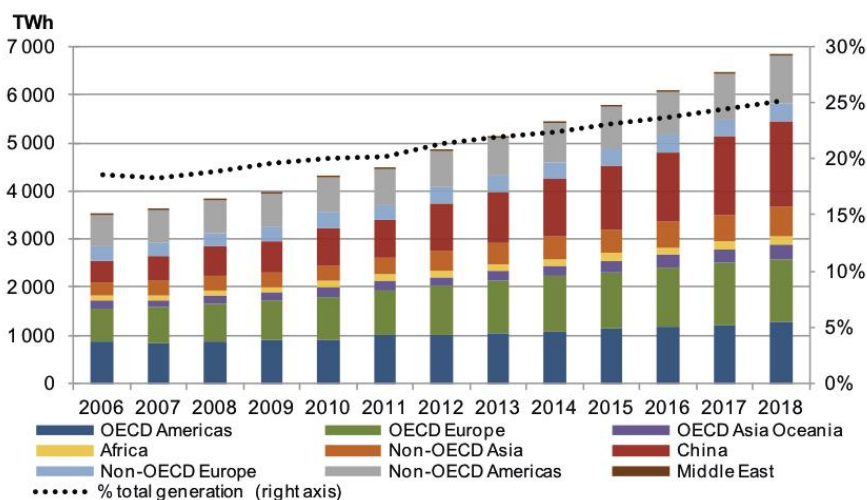


Figura 1.2 - Produção de energia renovável global por região. [3]

A contribuição das energias renováveis para o mercado e fornecimento de energia tem uma grande importância no desenvolvimento sustentável e económico. Com o incremento das energias renováveis é possível:

- Aumentar a segurança energética através do fornecimento de energia proveniente de um recurso abundante, diversificado e nativo, com menos dependências com o exterior, conferindo autonomia ao país;
- Reduzir as emissões de GEE (Gases de Efeito de Estufa) ao serem utilizados menos combustíveis fósseis. Apesar do uso das energias renováveis também emitirem GEE, estes comparados aos combustíveis fósseis, produzem sem dúvida menos quantidade de emissões;

- Aumentar a taxa de emprego tanto local como regional criando oportunidades na indústria da energia, desde a montagem e instalação até ao funcionamento e manutenção. Abrange tanto países desenvolvidos como países subdesenvolvidos;

Face à realidade dos combustíveis fósseis, questiona-se se as fontes renováveis serão capazes de satisfazer o aumento da procura, com uma relação custo benefício comparável à dos combustíveis fósseis.

1.1. Recursos Renováveis no Japão

O Japão é um país com poucos recursos naturais. Segundo a U.S. Energy Information Administration, é o país que importa mais gás natural, o segundo importador de carvão e o terceiro de petróleo. Para não ser tão dependente do exterior, o país investiu fortemente na energia nuclear a partir do ano de 1954, sendo o terceiro maior produtor de energia nuclear antes do acidente de Fukushima. Com o terramoto a leste do Japão, a março de 2011 com o subsequente acidente nuclear na estação de Fukushima a visão da política energética adotada pelo país foi reconsiderada [4].

Houve um incremento de energias renováveis tais como a energia solar, energia eólica, biomassa e geotérmica, figura 1.3. Das energias anteriormente citadas a que atrai mais atenção é a geotérmica, isto porque o Japão possui grandes fontes geotérmicas, ficando em terceiro lugar no mundo atrás da Indonésia e dos Estados Unidos da América [5].

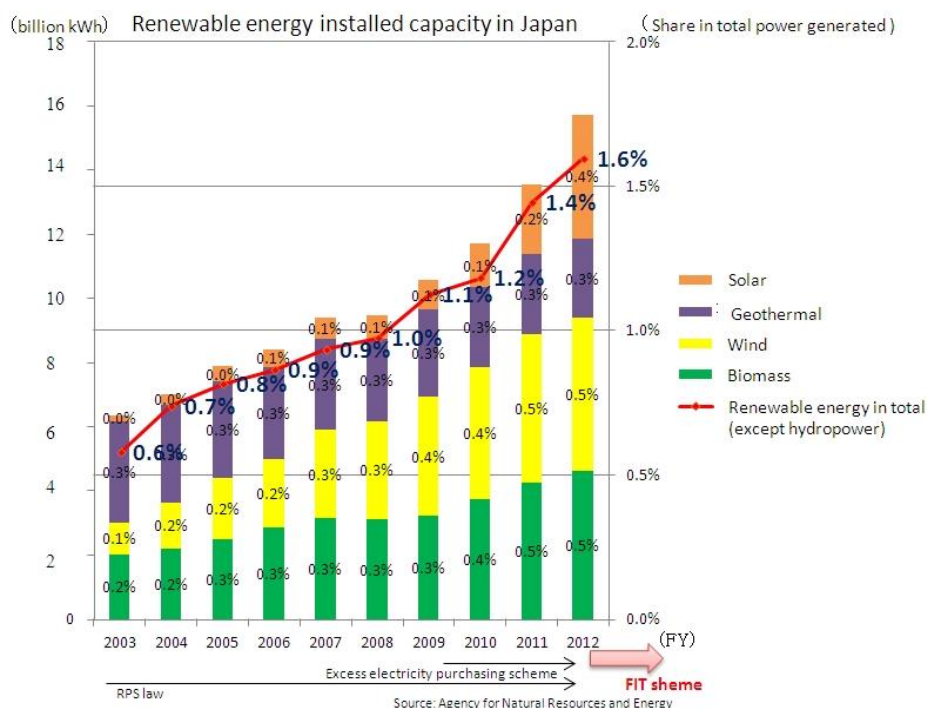


Figura 1.3 – Distribuição da capacidade renovável instalada no Japão até 2012 [6].

Houve também um forte acréscimo de energia solar, sendo inaugurada em 2013 a maior central de energia solar do país, a Kagoshima Nanatsujima Mega Solar Power Plant [7], com uma capacidade de 70MW para além de diversas “cidades solares” espalhadas pelo país [8].

Apesar do acidente de Fukushima, a atual política, divulgada em 2014, enfatiza a necessidade de voltar a produzir energia nuclear, isto porque com a desativação de diversos reatores nucleares após o acidente de 2011, o Japão foi obrigado a importar mais combustíveis fósseis, refletindo-se no preço da eletricidade que aumentou tal como na balança comercial japonesa que passou a ter um défice em 2013 [9].

2. Energia Solar Fotovoltaica

A conversão solar fotovoltaica é um processo no qual se utiliza a energia solar para produzir eletricidade. Neste capítulo pretende-se abordar a disponibilidade do recurso solar no local de estudo, o Japão, tal como as perspectivas futuras sobre a capacidade instalada no país.

A intensidade da radiação solar que chega à atmosfera depende da distância entre a Terra e o Sol, sendo que esta varia ao longo do ano. O valor médio de irradiância, E_0 , designado também de constante solar tem o valor de $1\,367\text{ W/m}^2$. Desta quantidade apenas uma parte atinge a superfície terrestre, cerca de 1000 W/m^2 ao meio dia, e em boas condições atmosféricas, uma vez que a atmosfera reduz a radiação solar através de processos de depleção como a reflexão, absorção e dispersão.

A irradiação global anual, medida em $\text{kWh/m}^2/\text{ano}$, equivale à quantidade total de radiação solar que incide na superfície terrestre ao longo de um ano. Este parâmetro varia, claro, consoante a região. Na figura 2.1 pode-se observar o potencial solar para a região do Japão.

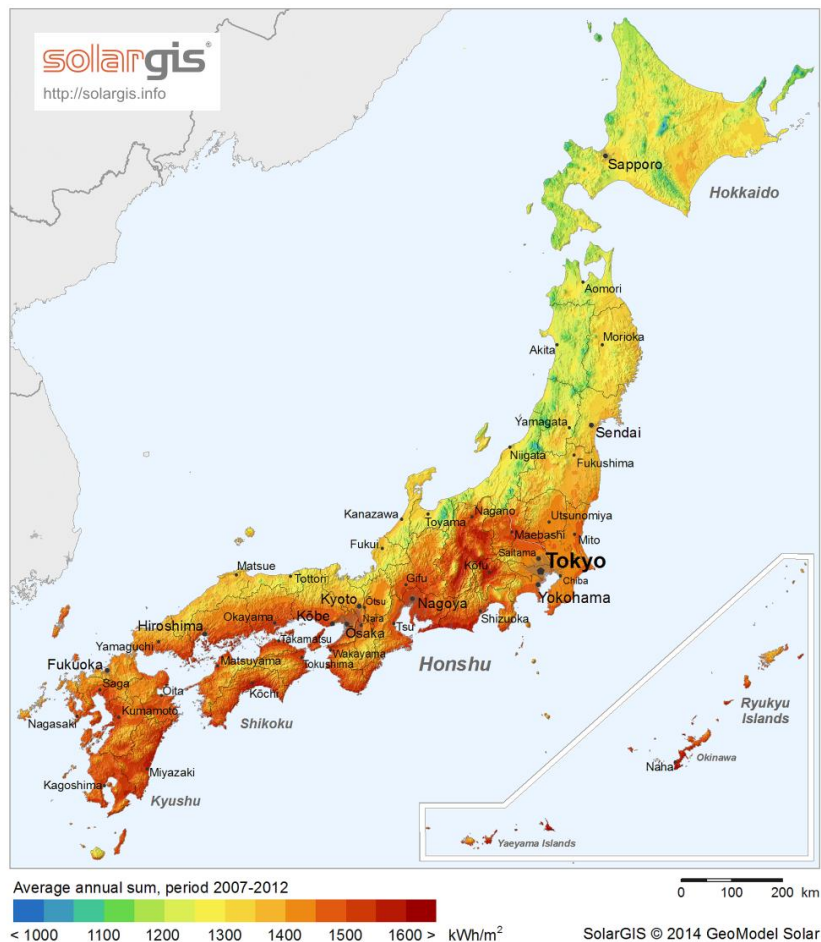


Figura 2.1 – Irradiação global horizontal [10].

A energia solar é vista como a energia do futuro pois utiliza uma fonte de energia limpa e inesgotável, o Sol. É utilizada em diversas aplicações desde aplicações de pequeno porte em sistemas rurais isolados como iluminação, bombeamento de água, até serviços profissionais/militares como aplicações marítimas, retransmissores de sinais, e aplicações de consumo como relógios e calculadoras.

Relativamente aos impactos ambientais, estes são muito menores que os impactos causados por fontes convencionais uma vez que o recurso utilizado na produção de energia renovável não emite poluentes líquidos ou gasosos nem material radiativo. Exceptuando sistemas fotovoltaicos móveis, os sistemas não emitem ruído. Com o avanço tecnológico já existem diversos painéis que permitem a instalação de um sistema de forma a que seja esteticamente aceite. Contudo a produção de energia solar depende do Sol, produzindo apenas durante o dia. A quantidade de produção está dependente condições climáticas.

Uma das tecnologias com forte crescimento no Japão é a energia fotovoltaica e deve-se a diversos factores. O Japão tem um bom potencial solar, apresentando um número médio anual de horas de Sol variável entre 1200 e 1600 horas [11], semelhante à realidade dos países da Europa central cujo valor ronda as 1200 e as 1800 horas [12]. A energia fotovoltaica expandiu-se rapidamente a partir da década de 90 tornando o Japão num dos países líderes na fabricação de módulos fotovoltaicos. Para além disso o Japão apresenta uma indústria avançada de semicondutores, a existência de edifícios modulares e elevadas tarifas para as energias renováveis.

Radiação solar em planos inclinados

Uma vez que a altura solar e o azimute variam ao longo do ano, o ângulo de incidência da radiação solar varia constantemente na maior parte das regiões propícias ao aproveitamento da energia solar. Pela análise da radiação anual pode-se equacionar quais as áreas existentes mais convenientes para o aproveitamento solar.

A orientação dos painéis solares implica diferentes níveis de irradiação. Para o Japão os valores encontram-se na figura 2.2.

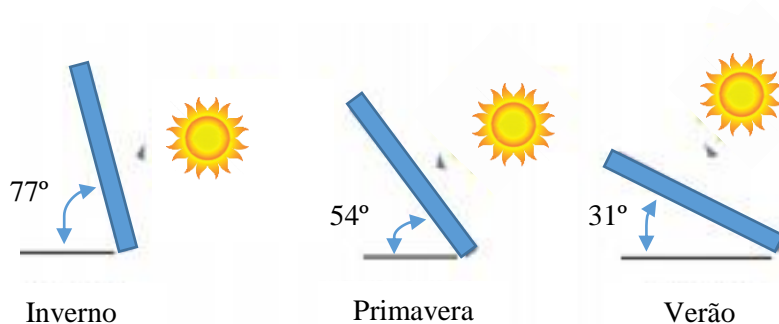


Figura 2.2 - Inclinação ótima consoante as estações do ano para Tokyo.

A utilização de diferentes orientações em relação à posição ótima traduz um decréscimo de produção de energia devido à redução da radiação incidente. No entanto tal pode resultar de uma escolha deliberada quando se pretende por exemplo que um sistema fotovoltaico produza mais durante o inverno.

3. Energia Eólica

A energia eólica resulta da conversão da energia do vento em energia elétrica. Cerca de 1% a 2% da energia solar é convertida em eólica devido ao aquecimento diferencial das massas do ar. Por esta razão é considerada uma energia inesgotável [13].

As turbinas eólicas convertem a energia cinética do vento em energia mecânica, que pode ser utilizada para efetuar tarefas específicas como moagem de cereais ou bombear água, ou pode ser convertida em energia elétrica através de um gerador. A utilização de um gerador é muito comum nos dias de hoje. Este é composto por dois ímanes que giram um sobre o outro sempre que as pás se movimentam, produzindo assim carga elétrica.

Com o avanço tecnológico, hoje produzem-se aerogeradores mais aptos a captar uma maior quantidade de energia.

A quantidade de energia produzida varia de acordo com o tamanho das hélices das turbinas, que faz variar a área varrida, tal como com o regime de velocidades de ventos na região em causa. A equação 3.1 traduz isto mesmo, onde A é a área varrida pelas turbinas em m^2 , V é a velocidade do vento em m/s e ρ é a densidade do ar em kg/m^3 . É importante que os ventos sejam regulares durante todo o ano, que não sofram muitas turbulências e que não estejam sujeitos a fenómenos climáticos extremos como tufões.

$$P_{incidente}(W) = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 \quad (3.1)$$

Disponibilidade do Recurso no Japão

A energia eólica encontra-se em desenvolvimento no mercado. Apesar de em alguns países ser uma das fontes que mais energia produz a partir de fontes renováveis, no Japão ainda tem pouca importância, tendo vindo a aumentar de capacidade ano após ano pelo incentivo ao “mix” energético, visível na figura 3.1.

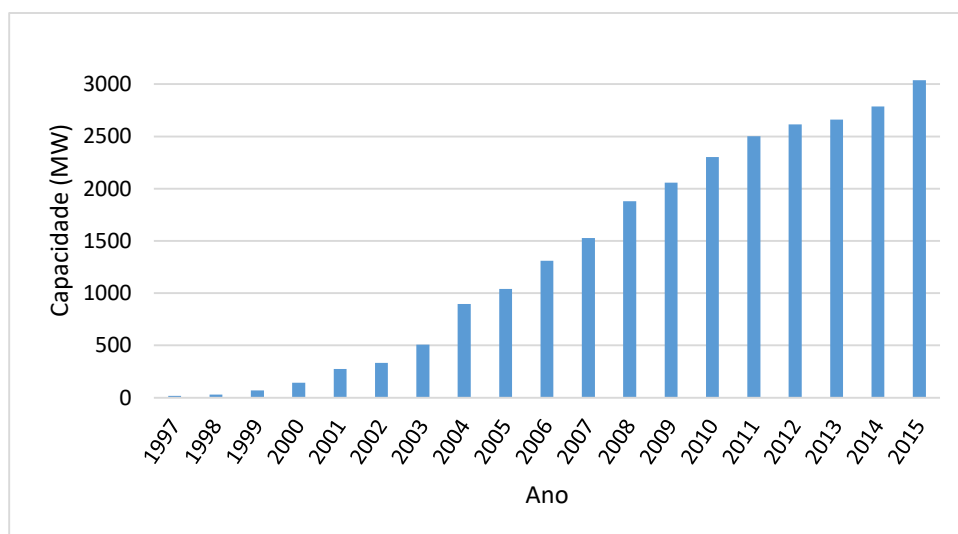


Figura 3.1 - Crescimento da capacidade de produção de energia eólica de 1997 até 2015 [14]

O Japão neste momento possui 259 parques eólicos, figura 3.2, correspondente a cerca de 9.6 GW, offshore e onshore [14], estimando que continue a subir [15].

A JWPA estima que o Japão tem potencial para 144 GW em onshore e 608GW em offshore [16].



Figura 3.2 - Parques eólicos [18].

Após o acidente de Fukushima, com os incentivos ao desenvolvimento de tecnologias renováveis, desenvolveu-se o projeto de demonstração “The Fukushima Wind Project”. Neste projeto instalou-se uma turbina de 2MW e uma de 7MW offshore, a 12 milhas da costa. Em 2016 espera-se instalar uma turbina de 5MW, tornando esta quinta na maior quinta offshore do mundo, a funcionar com segurança, fiabilidade e economicamente eficiente [17].

4. Armazenamento de Energia

Desde a descoberta da eletricidade que o Homem procura métodos eficazes para armazenar energia para uso posterior. Ao longo do tempo, a indústria do armazenamento de energia tem evoluído, adaptando-se às necessidades e avanços tecnológicos.

O armazenamento de energia tem como função principal a compensação de falhas de geração, na medida em que sempre que a produção de energia é superior ao consumo o sistema armazena a energia em excesso para depois ser utilizada em momentos em que a produção é inferior às necessidades. A utilização de sistemas de armazenamento também permite regular a frequência da rede uma vez que compensa os defeitos da onda de tensão, como cavas e picos [19].

Dentro dos sistemas de armazenamento existe uma ampla gama de abordagens tecnológicas, divididas entre seis categorias principais [20]:

Baterias de estado sólido – gama de soluções eletroquímicas, incluindo baterias químicas avançadas e condensadores.

Baterias de fluxo regenerativo (*Flow Battery*) – a energia é armazenada diretamente na solução eletrolítica. Existem três tipos: as baterias redox, híbridas e sem membranas.

Volantes (*Flywheels*) – dispositivos mecânicos que utilizam a energia rotacional para fornecer eletricidade instantânea.

Armazenamento por ar comprimido – utilização de ar comprimido para criar uma reserva de energia.

Térmica – captura do calor e frio através de radiação, condução ou convecção.

Hidroelétrica – armazenamento de energia sob a forma de reservatório de água.

Na presente dissertação serão utilizadas as baterias de fluxo regenerativo, nomeadamente a bateria redox de vanádio (VRB), figura 4.1. Uma bateria de fluxo apresenta dois componentes químicos dissolvidos em líquido, contidos em tanques externos como nas células de combustível.

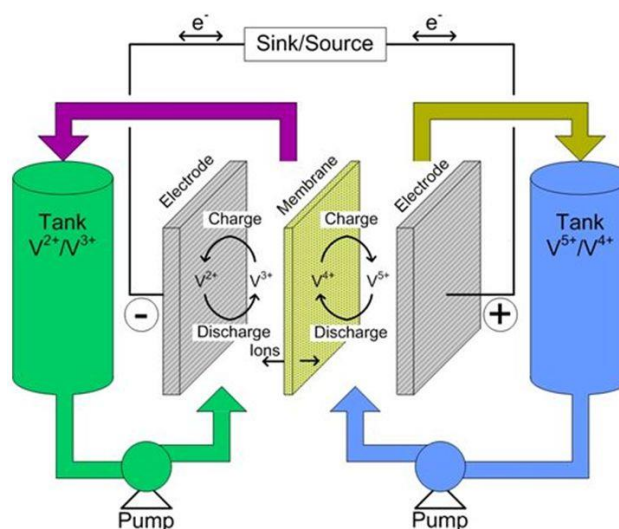


Figura 4.1 - Bateria redox de fluxo de Vanádio [21].

A bateria redox de vanádio utiliza quatro estados de oxidação para armazenar energia potencial química, favorecendo a não degradação da membrana.

Durante o ciclo de descarga, V^{2+} é oxidado em V^{3+} na parte negativa da célula, sendo um elétron libertado no processo. Na parte positiva da célula, V^{5+} , aceita o elétron através do circuito externo e reduz-se a V^{4+} . Iões de hidrogénio (H^+) são trocados na membrana de forma a manter a neutralidade de carga [22].

Existem dois componentes principais: o equipamento de conversão eletroquímica por onde os fluidos passam, e que define a potência de pico da bateria, e os tanques de armazenamento dos compostos químicos, que definem a capacidade de carga. Assim a quantidade de energia passível de armazenar é limitada pelo tamanho dos tanques [23]. Os eletrólitos da maioria das baterias de fluxo são metais como o vanádio. Embora seja eficiente, o vanádio é muito caro.

As baterias de fluxo apresentam um tempo de resposta rápido, um maior ciclo de vida e tolerância a sobrecargas. A bateria de vanádio pode ser carregada e descarregada mais de 10 000 vezes sem degradar o seu rendimento. Devido à necessidade de equipamentos adicionais como bombas, sensores e unidades de controle, têm grandes dimensões, sendo utilizadas em aplicações estacionárias, figura 4.2.



Figura 4.2 - Sistema de baterias de fluxo de vanádio no Japão [24] [25].

A temperatura normal desta célula é de 10°C a 40°C. o sistema de refrigeração é ativado sempre que a temperatura ambiente exceder os 40-45°C. A tensão da célula é de 1.4-1.6V e tem uma densidade de potência de 100mW/cm². A eficiência desta bateria varia entre os 60% e os 80%, e é adequada para sistemas de potência na faixa dos 100kW a 10MW, com durações de armazenamento entre 2 a 8 horas [23].

5. Caso de Estudo

Os dados reais de PV e consumo foram facultados pela NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization), e correspondem a dados recolhidos, entre 2004 e 2008, com resolução de um segundo. Estes dados foram utilizados para a elaboração de um projeto de pesquisa demonstrativo que simulava o que poderia acontecer quando temos um local residencial urbano com grande geração de energia fotovoltaica residencial investigando os seus efeitos no sistema de distribuição [26].



Figura 5.1 – Província de Gunma, Ota, Japão, após instalação dos sistemas fotovoltaicos [27].

O projeto denomina-se “Pal Town Josai-no-Mori”, localiza-se na cidade de Ota, na província de Gunma, Japão. Como resultado do projeto, 553 casas têm sistemas fotovoltaicos instalados no telhado, com um total de 2 160 kW de potência PV. Cada casa tem o seu próprio sistema fotovoltaico que varia entre 2.6 – 5.0 kW/casa (média de 3.85 kW/casa) [28].

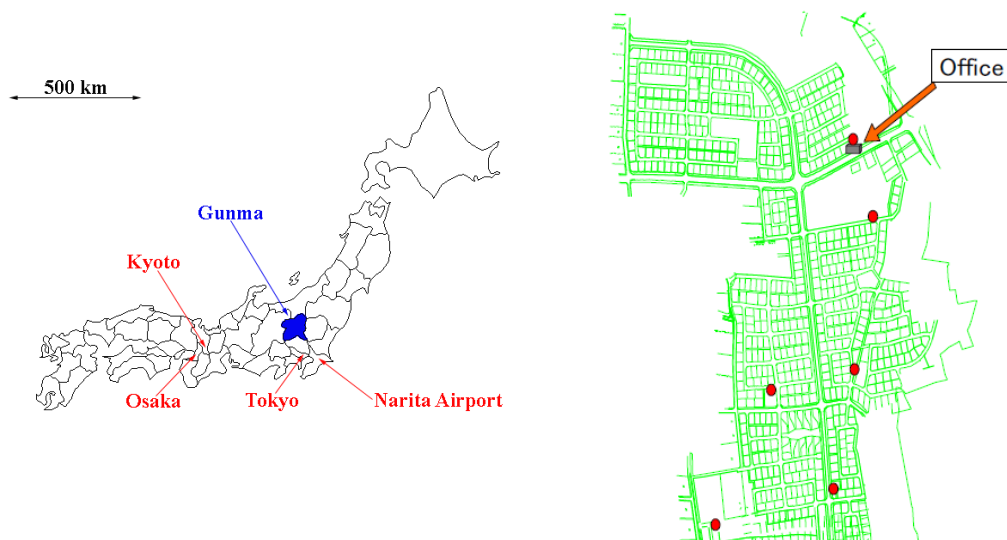


Figura 5.2 - Localização da província de Gunma, Ota, Japão e esquematização do projeto [28].

5.1. Avaliação dos Dados PV

Numa primeira instância foram analisados os dados dos sistemas fotovoltaicos DC e AC e os dados de consumo. Estes correspondem a dados de uma só casa, para todo o ano. Procurou-se analisar numa primeira abordagem se a produção fotovoltaica excedia o consumo tendo-se verificado o contrário, a produção fotovoltaica nunca excede o consumo ao longo de todo o ano. Tendo isto em conta, este estudo surgiu da intenção de desenvolver e analisar um conjunto de cenários em que fosse possível analisar se a produção renovável produzida a partir de fotovoltaica, eólica e hídrica, seria suficiente para suprir os consumos reais da localidade selecionada no Japão.

Como os dados fotovoltaicos e de consumo tinham uma resolução de 1 segundo [28], e uma vez que para esta análise não será necessária uma resolução muito pequena, em MatLab, efetuou-se uma passagem para uma resolução maior, de 30 minutos. Assim, a cada 30 minutos corresponderá um valor médio de potência. Verificou-se também que os dados iniciais de consumo e produção fotovoltaica apresentavam alguns erros (dados não numéricos), estes equivalentes a um segundo. Assim estes valores foram extrapolados, fazendo a média entre o valor anterior e o seguinte de forma a ter apenas valores numéricos.

Seguidamente, representaram-se os dados de potência DC e AC fornecidos juntamente com os dados de consumo também fornecidos, em anexo. Os dados dizem respeito a uma casa do bairro em estudo. Pela visualização dos mesmos foi possível selecionar 4 semanas para efetuar os estudos pretendidos, **a primeira no Verão de 12 a 18 de julho**, **a segunda na no Inverno de 1 a 7 de fevereiro**, **a terceira na Primavera de 15 a 22 de março** e uma **quarta para a semana de Outono de 24 a 30 de novembro**.

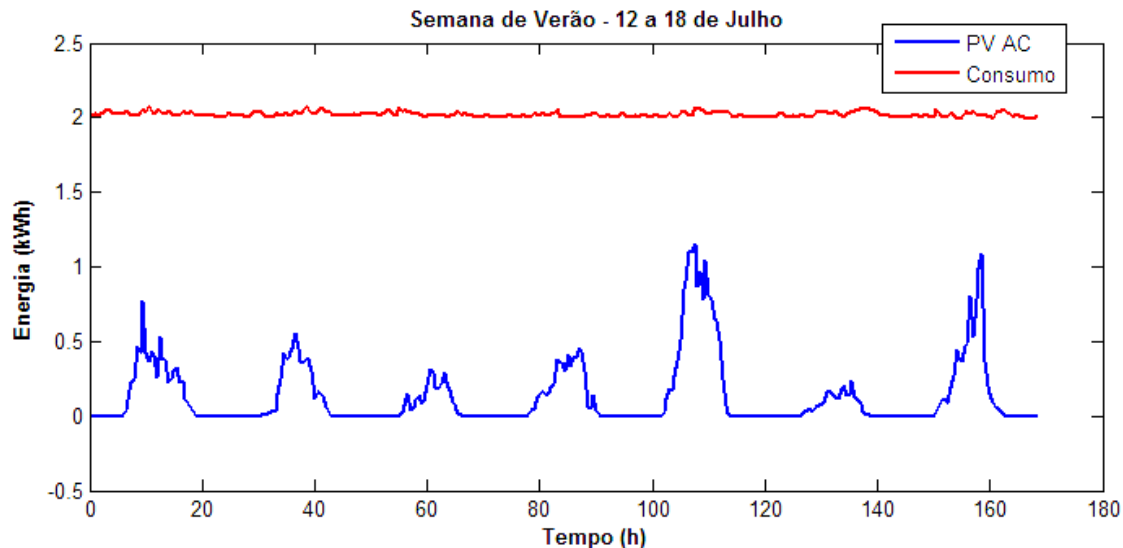


Figura 5.3 - Semana de Verão de 12 a 18 de julho.

A semana de julho foi escolhida por ser aquela que durante o Verão possui maior variação de produção PV, a de fevereiro por ter alguma variação de consumo, apesar de pouco relevante, a de março por ser uma semana típica e a de novembro por ser uma semana em que a produção PV é, por razões meteorológicas, mais baixa.

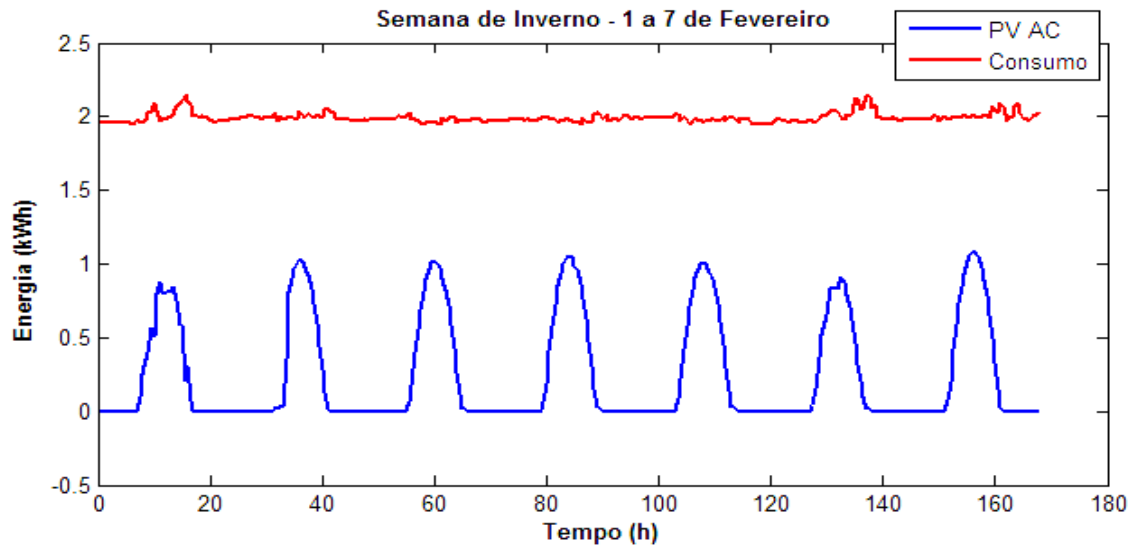


Figura 5.4 - Semana de Inverno de 1 a 7 de fevereiro.

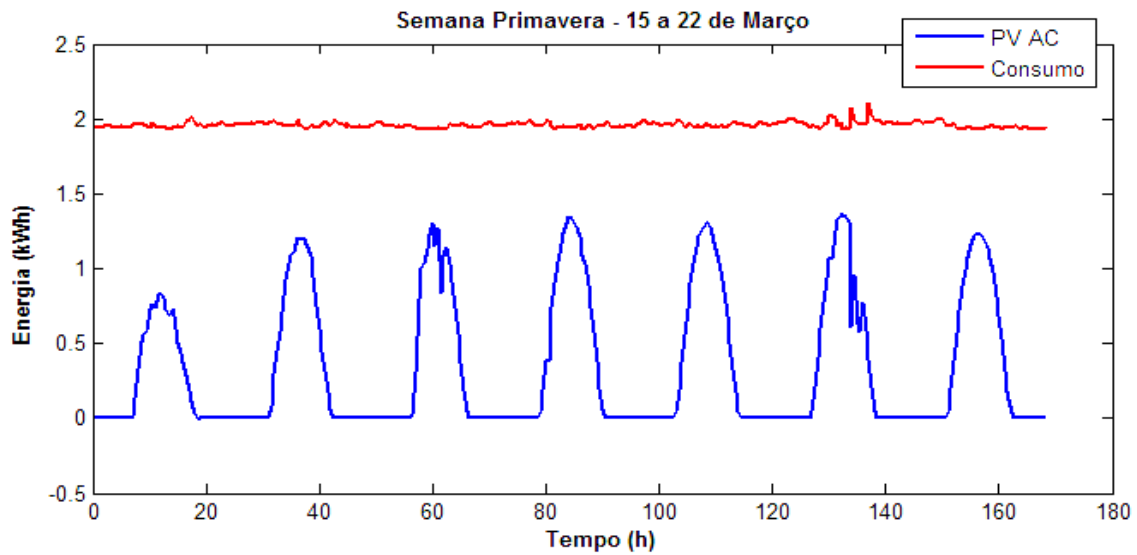


Figura 5.5 - Semana de Primavera de 15 a 22 de março.

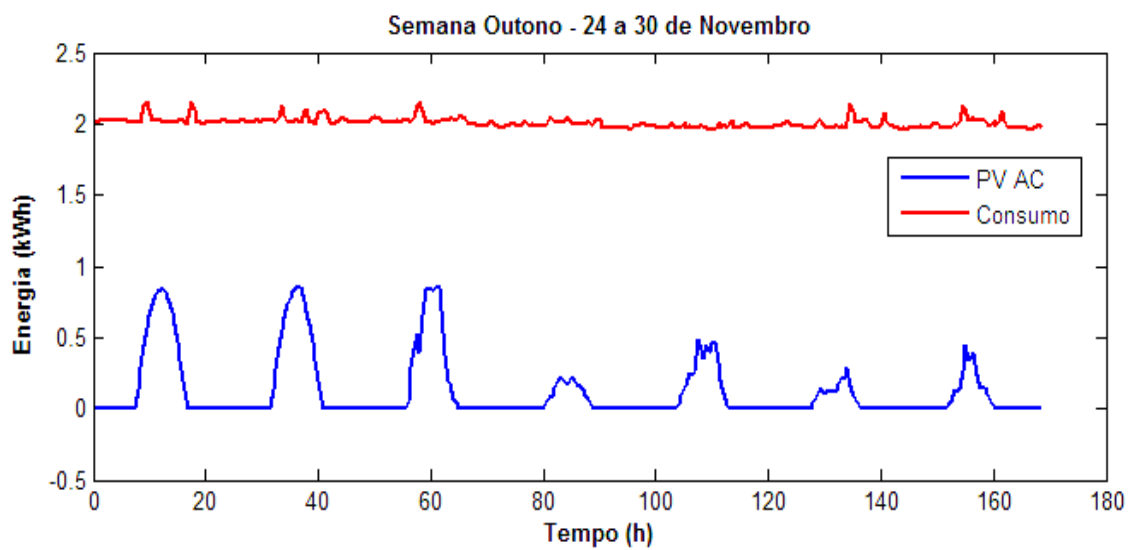


Figura 5.6 - Semana de Outono de 24 a 30 de novembro.

5.2. Avaliação do Potencial Eólico

De forma a calcular o potencial eólico no local em estudo, recorreu-se a dados de velocidade de vento, com uma resolução de uma hora, a uma altitude de 60 metros e para o ano de 2014, figura 5.7. Os dados foram facultados pelo site Renewables.ninja, e respeita a uma colaboração entre Stefan Pfenninger, doutorado na ETH Zürich e Iain Staffell, professor no Imperial College London [29]. Os dados meteorológicos são trabalhados a partir de modelos globais ou a partir de observações via satélite.

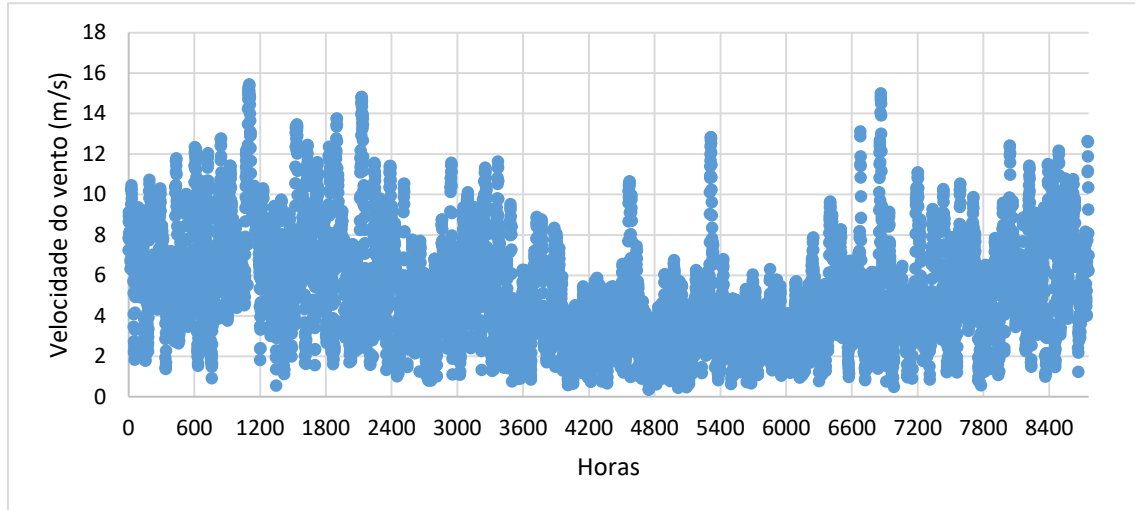


Figura 5.7 - Velocidade do vento para o local de estudo, para o ano de 2014.

Uma vez que os dados de velocidade do vento não tinham a mesma resolução dos dados PV, recorreu-se à interpolação linear de forma a obter os dados de velocidade do vento para cada semana a serem utilizados no estudo.

A interpolação é, por definição, um método de ajuste de uma função quando se conhece apenas um conjunto de pontos. No caso da interpolação linear, tem-se um ajuste de uma função de primeiro grau, do tipo $aX+b$. Desta forma recorreu-se à equação 5.1. de forma a completar o nosso conjunto de dados de velocidade do vento [30].

$$Vento_i = vento_{i-1} + \frac{tempo_i - tempo_{i-1}}{tempo_{i+1} - tempo_{i-1}} * (vento_{i+1} - vento_{i-1}) \quad 5.1$$

Após a interpolação procedeu-se à seleção dos dados de velocidade do vento relativos às semanas em estudo. Para estimar o potencial eólico, foi necessário calcular a velocidade média do vento para cada semana e anual, com recurso à equação 5.2. Os valores registados encontram-se na tabela 5.1.

$$\text{Velocidade média do vento (m/s)} = \frac{\sum \text{Velocidade (m/s)}}{N^{\circ} \text{ total de dados}} \quad (5.2)$$

Tabela 5.1 - Velocidade média do vento para cada semana selecionada.

Julho	7.92 (m/s)
Fevereiro	6.41 (m/s)
Março	7.03 (m/s)
Novembro	5.27 (m/s)
Anual	5.90 (m/s)

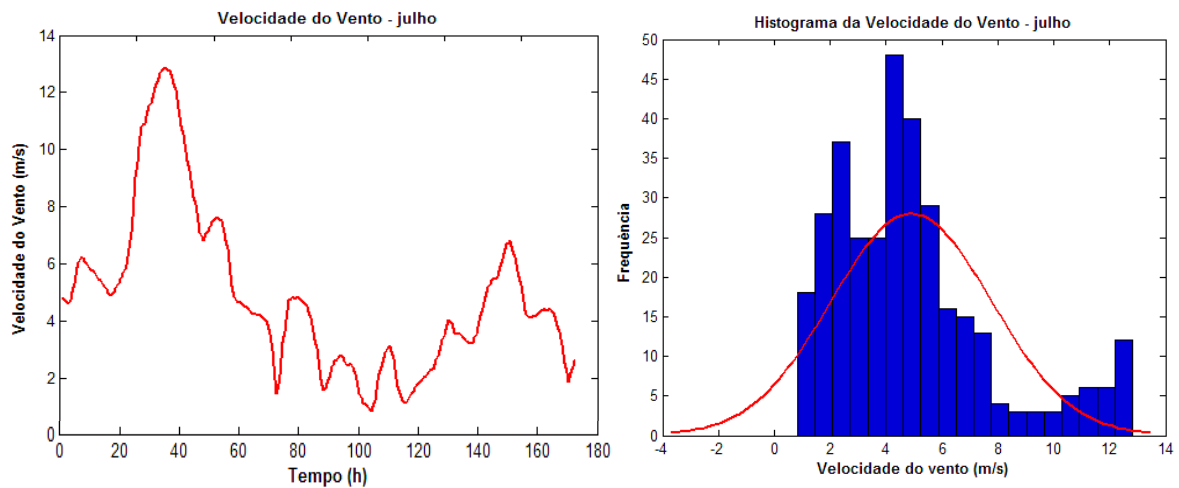


Figura 5.8 - Velocidade do vento ao longo da semana de julho e respetivo histograma de velocidades.

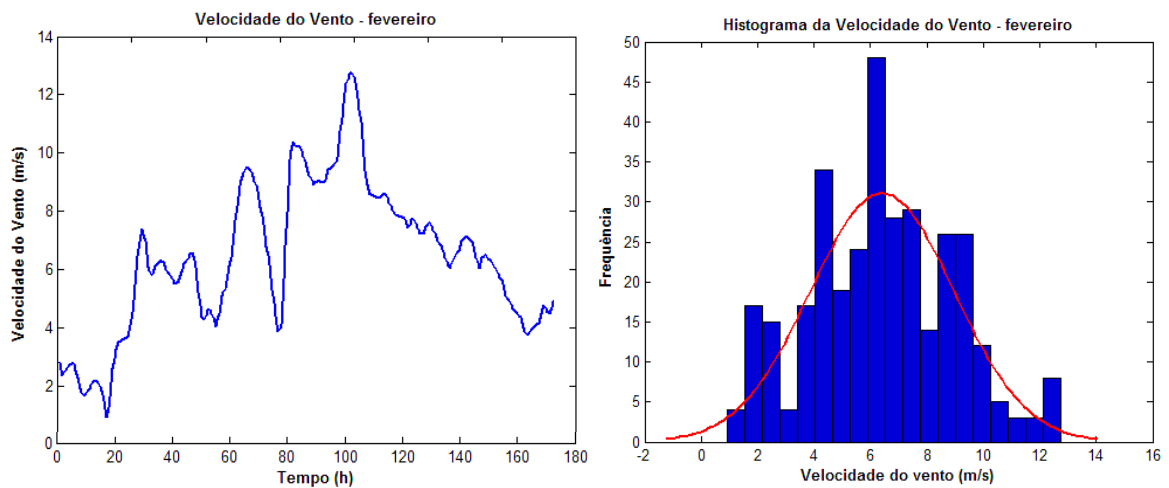


Figura 5.9 - Velocidade do vento ao longo da semana de fevereiro e respetivo histograma de velocidades.

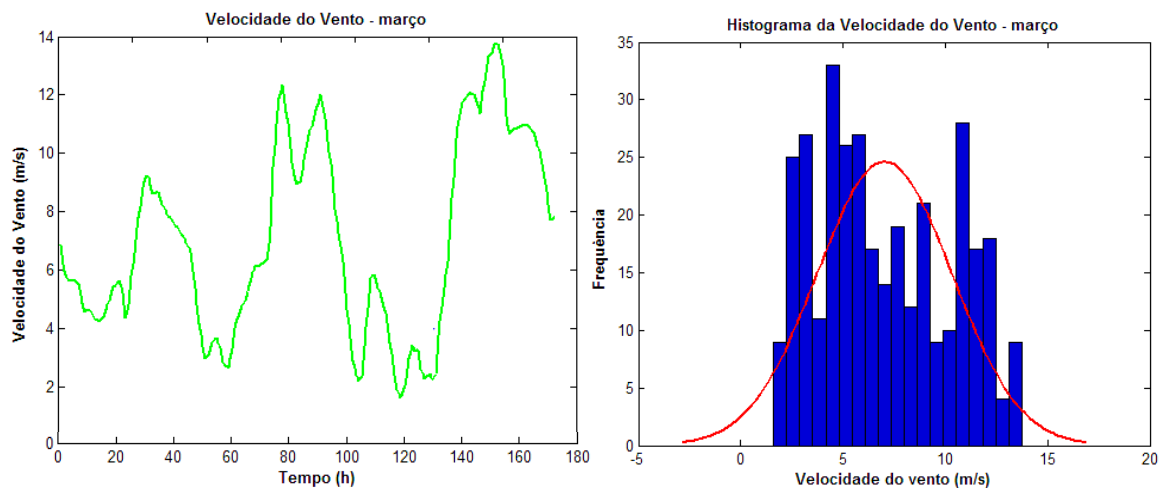


Figura 5.10 - Velocidade do vento ao longo da semana de março e respetivo histograma de velocidades.

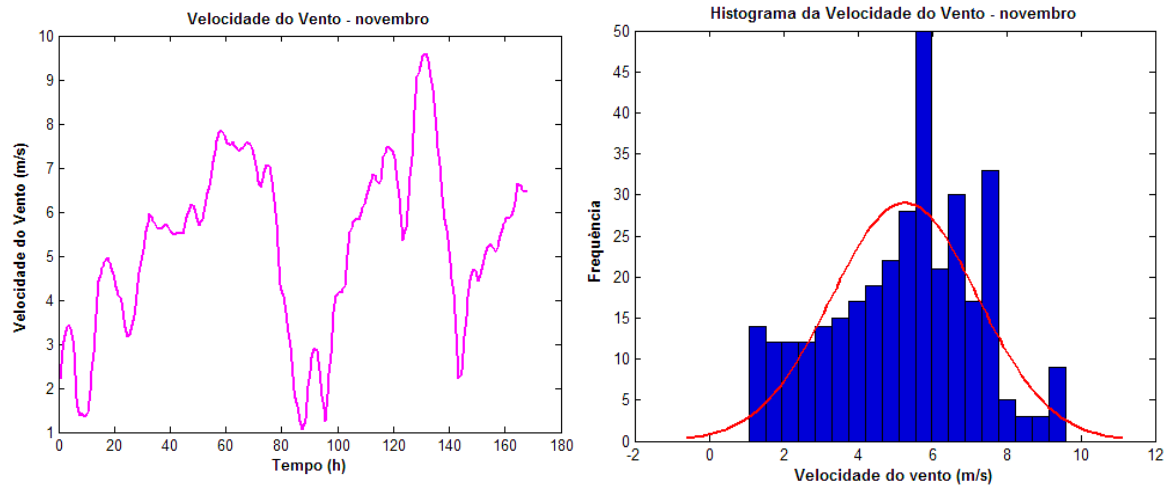


Figura 5.11 - Velocidade do vento ao longo da semana de novembro e respetivo histograma de velocidades.

Tendo em conta a velocidade média do vento calculada e tendo em conta os máximos e mínimos ocorridos procedeu-se à escolha da turbina mais adequada a fim de calcular a potência útil que se consegue extrair. Escolheu-se a turbina Gaia-Wind A/S HAWT 11 kW [31] com as seguintes características, tabela 5.2. Não se escolheu uma turbina de dimensão superior uma vez que o potencial extraído depende da velocidade do vento no local e, uma vez que o vento no local em estudo não é elevado, o potencial não seria aproveitado.

Tabela 5.2 - Características da turbina selecionada.

Potência nominal	11 kW
Cut-in speed	3 m/s
Cut-out speed	25 m/s
Diâmetro do rotor	13 m
Área varrida	132 m ²
Número de pás	2

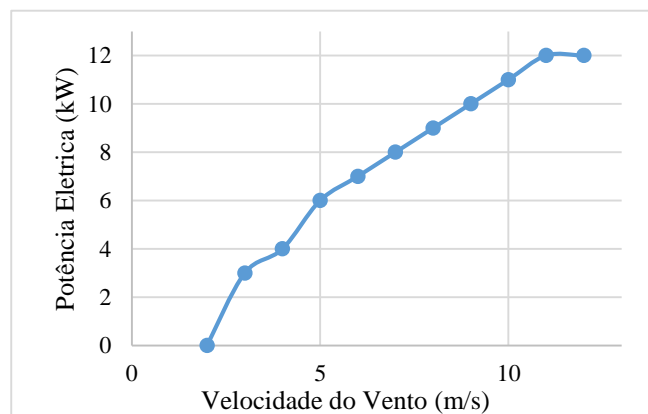


Figura 5.12 - Curva de potência da turbina selecionada [31].

Sabendo que a potência incidente, a potência perdida e a potência útil são dadas pelas equações 3.1, 5.2 e 5.3 respetivamente, e que o C_p é dado pela equação 5.4, onde a potência extraída da turbina corresponde à potência dada pela curva de potência da mesma, figura 5.12, foi possível estimar a potência útil que é possível extrair, para cada uma das semanas selecionadas. A partir da potência útil foi calculada a energia útil.

$$P_{perdido}(W) = P_{incidente} - P_{útil} \quad (5.2)$$

$$P_{útil}(W) = P_{incidente} * C_p \quad (5.3)$$

$$C_p = \frac{P_{extraído\ turbina}}{P_{incidente}} \quad (5.4)$$

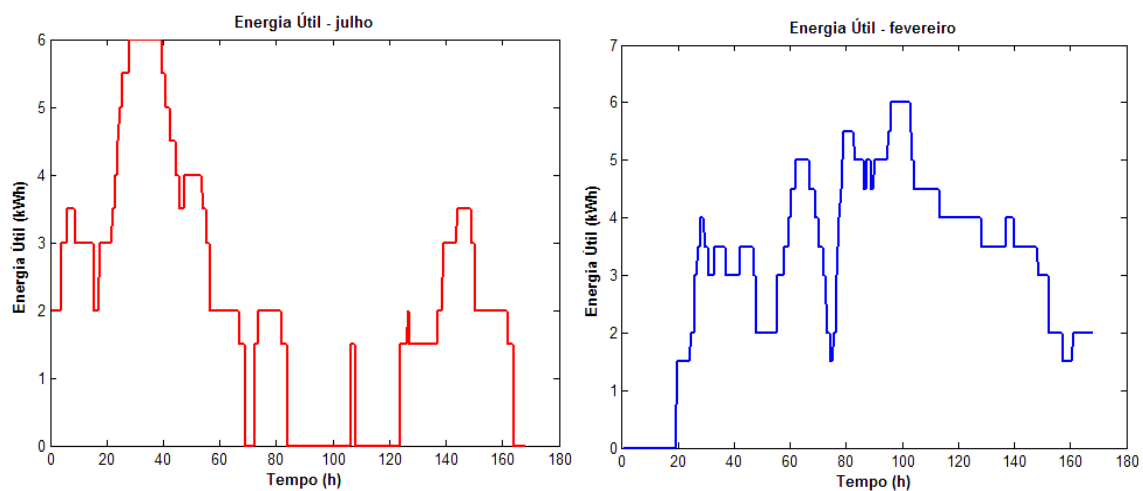


Figura 5.13 - Energia eólica útil para a semana de julho, à esquerda, e para a semana de fevereiro, à direita

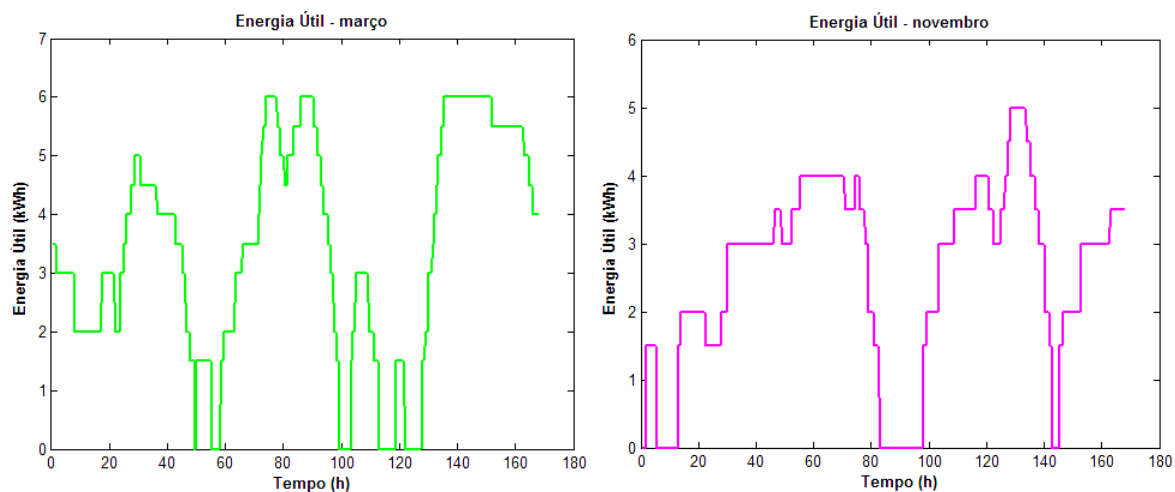


Figura 5.14 - Energia eólica útil para a semana de março, à esquerda, e para a semana de novembro, à direita

Na tabela 5.3 foi registada a energia produzida em cada semana.

Tabela 5.3 – Energia produzida para cada semana.

Energia Produzida (kWh)	
Semana de julho	362.75
Semana de fevereiro	537.50
Semana de março	577.00
Semana de novembro	429.75

6. Cenários

Para a criação dos cenários teve-se em conta que uma habitação teria o sistema fotovoltaico já instalado e uma turbina. Optou-se por uma turbina por cada casa uma vez que a escolha da turbina depende dos registos de velocidade do vento. Para um valor médio elevado de velocidade de vento utilizam-se turbinas de elevada potência pois estas funcionam com velocidades do vento superior. Como o local em estudo apresenta um valor médio baixo de velocidade do vento, de 5.9 m/s, tabela 5.1, procedeu-se à escolha de uma turbina de 11kW por casa. Desta forma é possível tirar partido do potencial eólico para velocidades de vento menores.

6.1. Cenário 1: PV + Eólica

Para a criação do **cenário 1** foi considerado o **potencial fotovoltaico** já instalado no local e o **potencial eólico** de uma turbina, estimado no capítulo anterior. De seguida pode-se observar o perfil de produção e consumo para cada semana, e para uma casa.

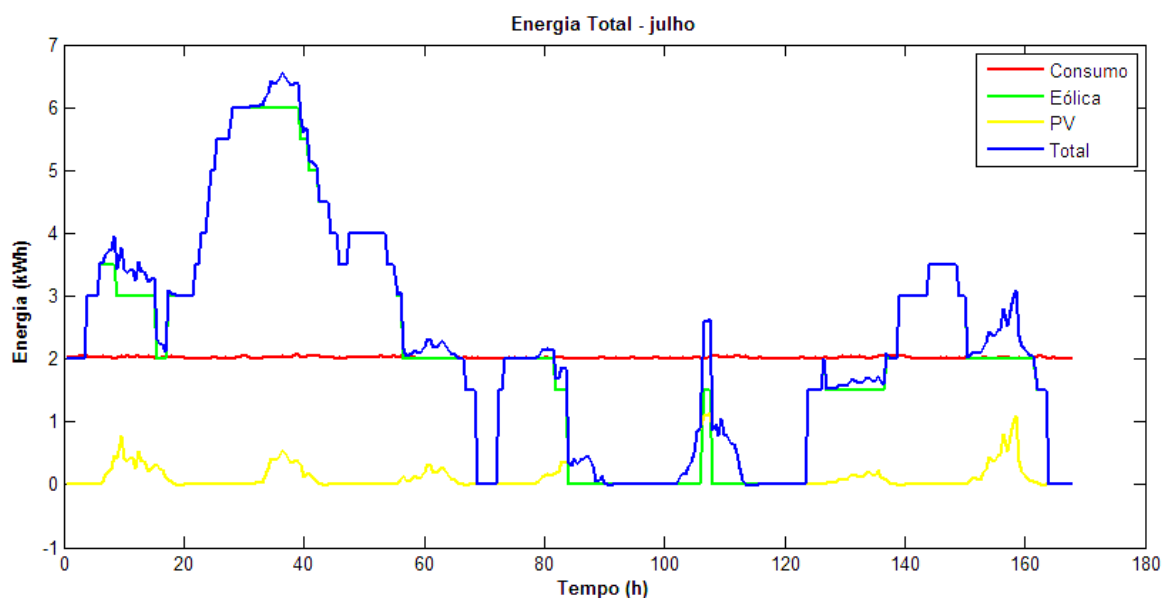


Figura 6.1 - Perfil de produção, consumo e total para a semana de julho, para uma casa.

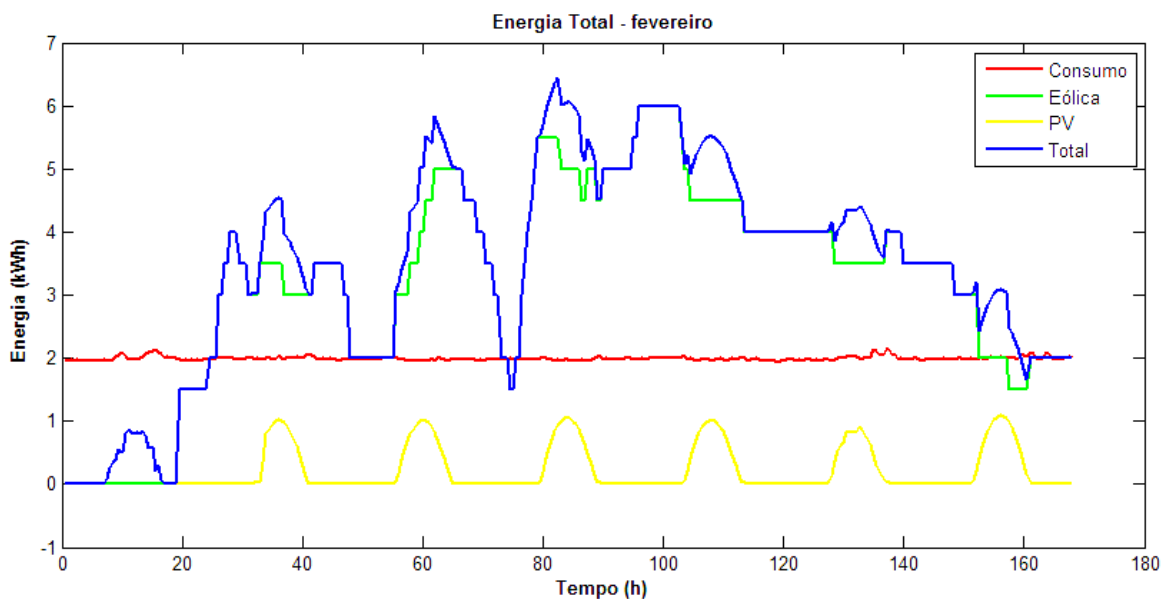


Figura 6.2 - Perfil de produção, consumo e total para a semana de fevereiro, para uma casa.

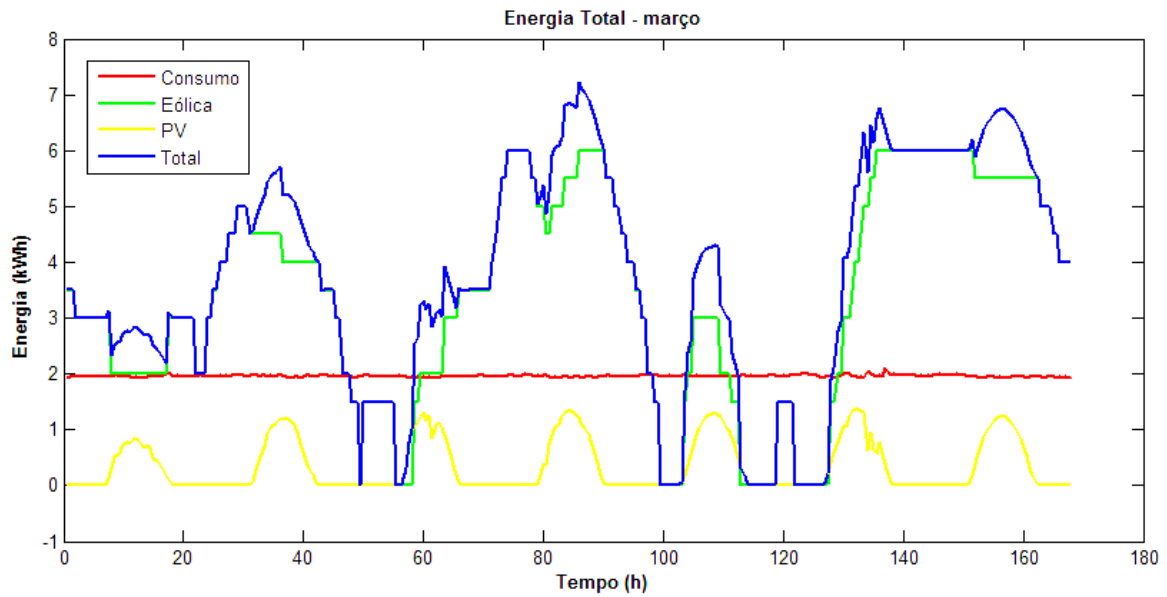


Figura 6.3 - Perfil de produção, consumo e total para a semana de março, para uma casa.

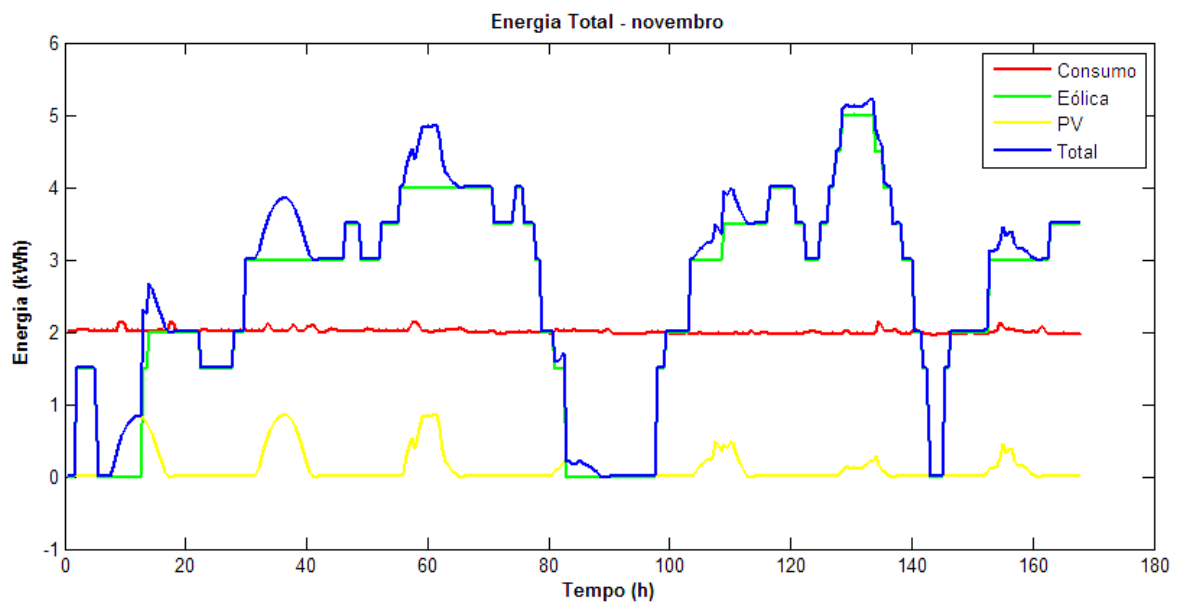


Figura 6.4 - Perfil de produção, consumo e total para a semana de novembro, para uma casa.

Nas figuras 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4, a produção total, linha a azul, correspondente à produção eólica e fotovoltaica, é superior ao consumo, linha a vermelho, em determinados instantes, no entanto noutros instantes a produção é insuficiente não suprimindo os consumos.

Na tabela seguinte, tabela 6.1, estão registados os valores totais de energia produzida, consumo, défice e excesso para cada semana, e para uma casa.

Tabela 6.1 - Resultados de produção, consumos, défice e excesso totais para uma casa.

	Julho	Fevereiro	Março	Novembro
Energia PV (kWh)	23.23	41.98	58.63	20.88
Energia Eólica (kWh)	362.75	537.50	577.00	429.75
Energia total (kWh)	385.98	579.48	635.63	450.63
Consumo total (kWh)	339.60	334.80	329.36	337.38
Défice total (kWh)	95.27	36.21	42.07	56.67
Excesso total (kWh)	141.64	280.89	348.49	169.92

Na tabela 6.1, podemos verificar que em todas as semanas existe um défice, pois tal como verificado anteriormente a produção não é superior ao consumo em todos os instantes. Pode-se ainda verificar que o excesso total é superior ao défice total, conseguindo-se suprir os consumos na totalidade (se ocorressem no mesmo instante).

Uma vez que esta primeira análise foi efetuada para uma casa e, que se pretende efetuar a análise ao nível do bairro, ou seja, ao nível das 553, partiu-se do pressuposto que todas as 553 casas tinham uma produção de fotovoltaica e eólica e um consumo iguais ao da casa selecionada e analisada anteriormente. De seguida apresentam-se os perfis de produção e consumo.

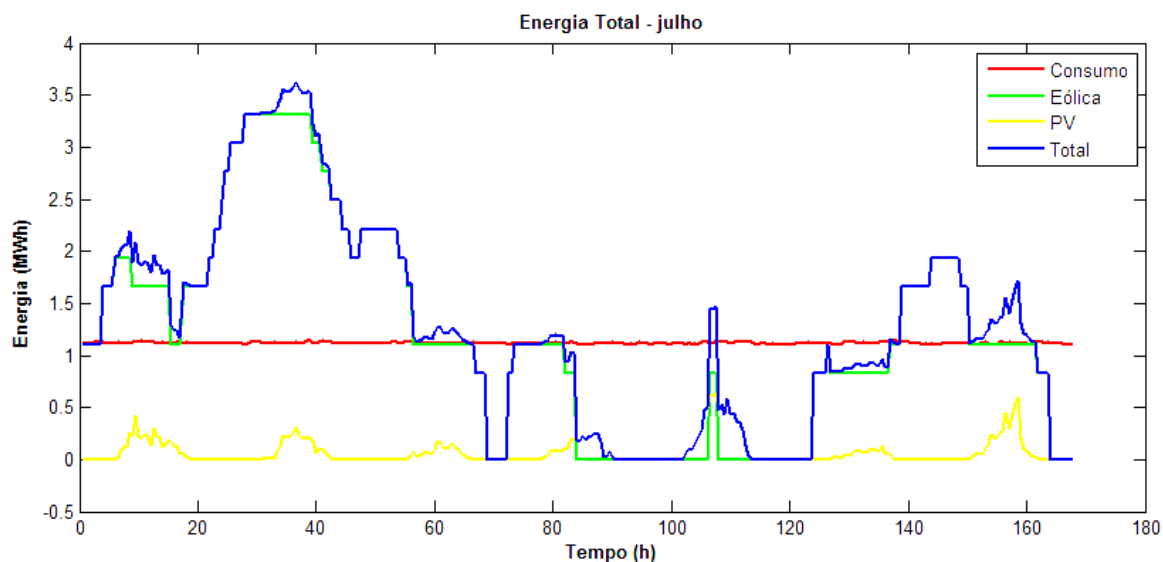


Figura 6.5 - Perfil de produção, consumo e total para a semana de julho, para a província.

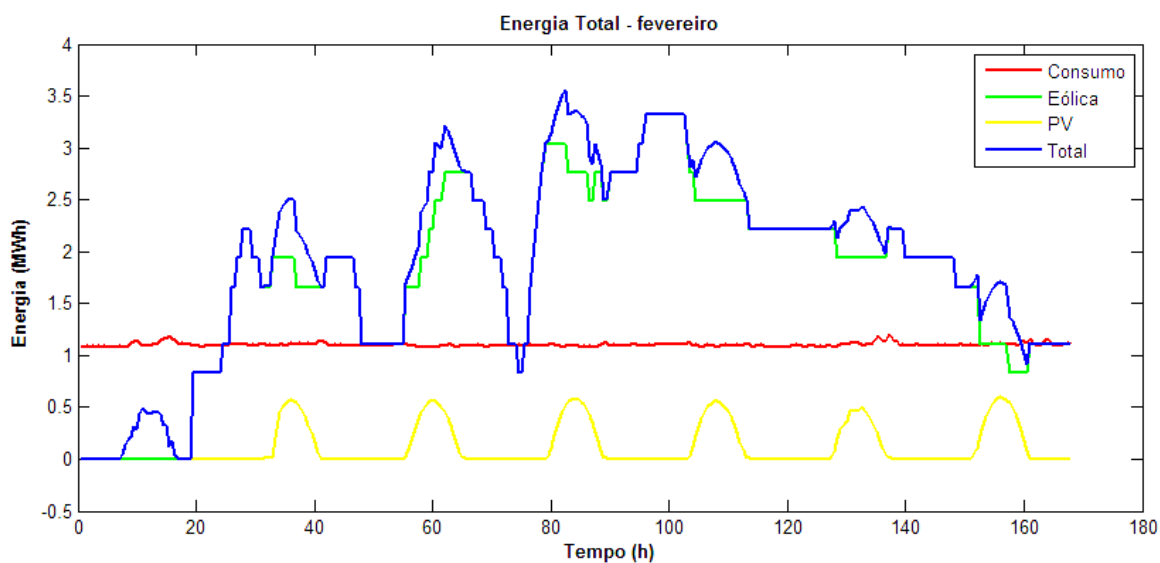


Figura 6.6 - Perfil de produção, consumo e total para a semana de fevereiro, para a província.

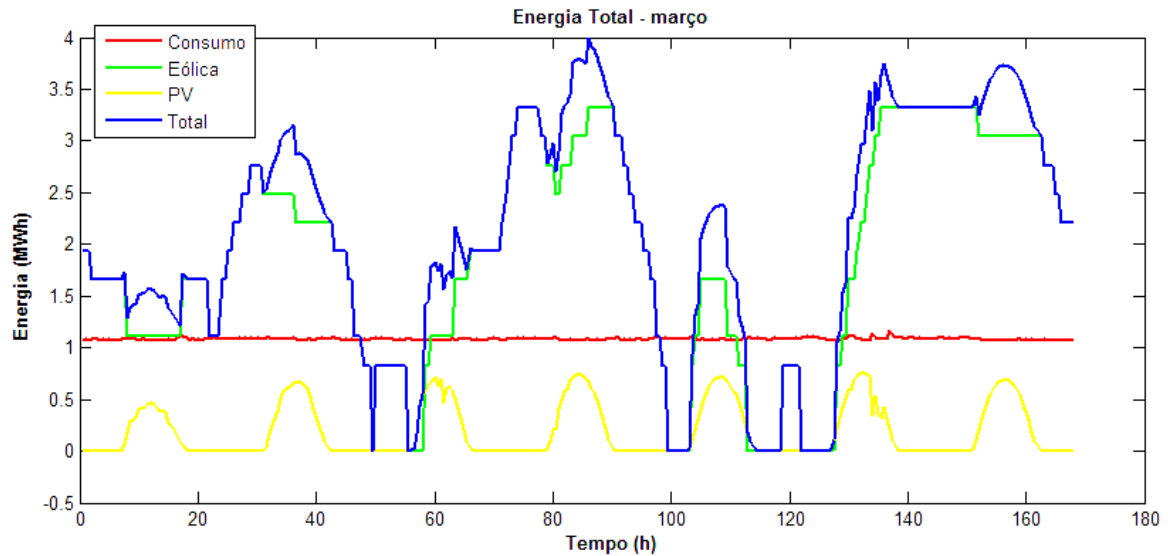


Figura 6.7 - Perfil de produção, consumo e total para a semana de março, para a província.

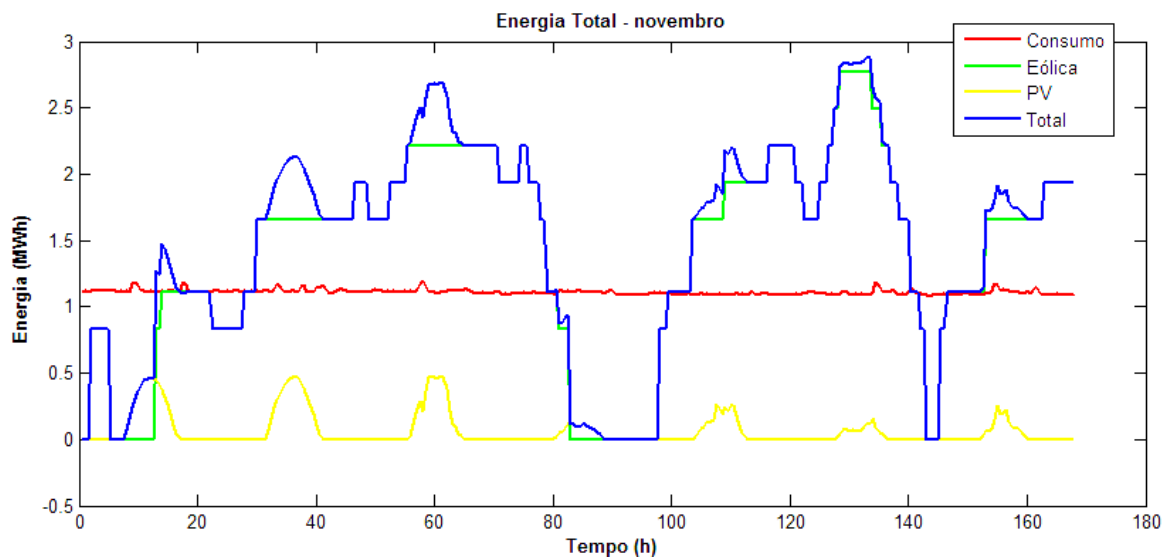


Figura 6.8 - Perfil de produção, consumo e total para a semana de novembro, para a província.

Na tabela seguinte, tabela 6.2, estão registados os valores totais de energia produzida, consumo, défice e excesso para cada semana, para toda a província.

Tabela 6.2 - Resultados de produção, consumos, défice e excesso totais para toda a província.

	Julho	Fevereiro	Março	Novembro
Energia PV (MWh)	12.85	23.22	32.42	11.55
Energia Eólica (MWh)	200.60	297.24	319.08	237.65
Energia total (MWh)	213.45	320.45	351.50	249.20
Consumo total (MWh)	187.80	185.15	182.13	186.57
Défice total (MWh)	52.68	20.02	23.26	31.34
Excesso total (MWh)	78.33	155.33	192.63	93.96

Uma vez que em todas as semanas o défice é sempre inferior ao excesso, e de forma a que o consumo possa ser suprido a cada instante, será possível introduzir um sistema de armazenamento de energia.

Para tal foi criado o sub-cenário **1.A – Adição de Baterias**, em que se introduziram baterias de forma a suprir todos os consumos a cada instante.

A – Adição de Baterias

Neste cenário foram adicionadas baterias, nomeadamente as baterias redox de fluxo de vanádio. As baterias são importantes pois sempre que há excesso de produção, a energia é armazenada nas mesmas, e sempre que existe défice de produção a energia necessária para suprir o consumo vem da bateria, se a mesma tiver energia suficiente.

Uma vez que a eficiência das baterias utilizadas varia entre os 60% e os 80% (capítulo IV – armazenamento de energia), utilizou-se uma eficiência média de 70%.

De forma a que a bateria tenha sempre energia suficiente para suprir os consumos é necessário analisar cada semana e perceber qual o período de tempo, em cada semana, em que o défice é maior. Assim analisou-se os dados instantâneos de défice e registou-se o valor de défice mais elevado, tabela 6.3.

Partindo do pressuposto que a bateria está a 100% de carga no primeiro instante, em MatLab, estimou-se a energia de baterias necessária. Uma vez que o consumo tem um perfil industrial, e, portanto, o consumo é constante, fez-se a seguinte analogia: sempre que há, a carga da bateria no instante i será igual à carga da bateria no instante anterior, $i-1$, mais o excesso no momento i . No caso de haver défice fez-se uma analogia semelhante: a carga da bateria no instante i será igual à carga da bateria no instante anterior, $i-1$, menos o défice no momento i .

Tabela 6.3 - Défice estimados e energia de bateria necessária, para a província.

	Julho	Fevereiro	Março	Novembro
Período de défice máximo (MWh)	23.36	19.47	13.64	16.90
Energia necessária de baterias (MWh) com carga a 100%	109	28	20	25

O valor da energia das baterias necessária para cada semana foi definido como o valor mínimo, no qual todos os consumos conseguem ser supridos.

Numa primeira análise considerou-se que a bateria no momento inicial estava a 100% de carga. Ainda se considerou que, no último instante, a carga de bateria tem de ser igual ao do primeiro instante, uma vez que se considera que as semanas seguintes a cada semana de estudo têm um perfil semelhante. Desta forma o perfil da bateria inicia a 100% de carga e termina a 100%.

Na primeira semana, **semana de julho**, registou-se uma necessidade de energia de 66MWh para suprir os consumos a cada instante. No entanto, como o último instante do perfil da bateria, figura 6.9, tem de ser igual ao instante inicial, isto é, a bateria tem de iniciar a 100% de carga e tem de terminar a semana a 100%, seria necessária uma energia no último instante de 43MWh ($46.89\text{MWh} - 4.754\text{MWh} = 42.136\text{MWh}$). Uma vez que não existe energia em excesso a partir do meio da semana, esta energia no último instante seria proveniente da rede elétrica, pois por mais baterias que se adicionem nunca se consegue repor um nível de carga de 100%. Tendo isto em conta, para esta semana seria necessária uma energia total de 109MWh. Atendendo à figura 6.9, podemos verificar que o défice semanal se concentra a meio da semana, razão pela qual é necessária uma energia elevada. Podemos ainda verificar que no início da semana, uma vez que a bateria está a 100% de carga, a mesma não consegue armazenar mais energia e, portanto, a produção em excesso será energia perdida.

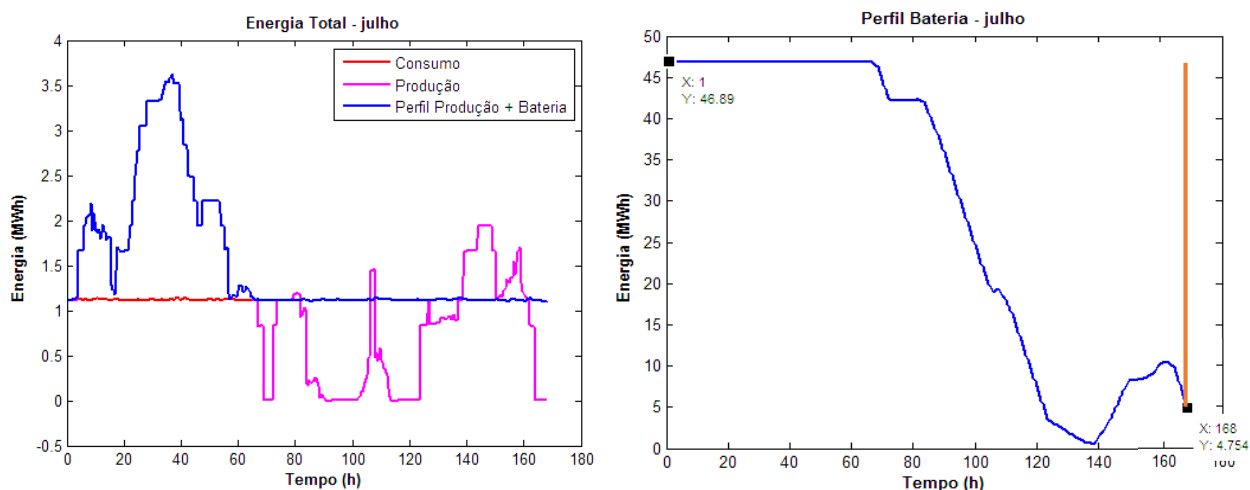


Figura 6.9 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 100%, para a semana de julho.

Relativamente à **semana de fevereiro**, registou-se uma necessidade de energia de 28 MWh. Observando a figura 6.10, pode-se verificar que o défice ocorre praticamente no seu todo nos primeiros instantes, sendo que nesse momento se verifica a descarga da bateria. No resto da semana, a produção é superior ao consumo, sendo que quando a bateria atinge a carga máxima não consegue armazenar mais energia e, portanto, todo o excesso de produção será energia perdida.

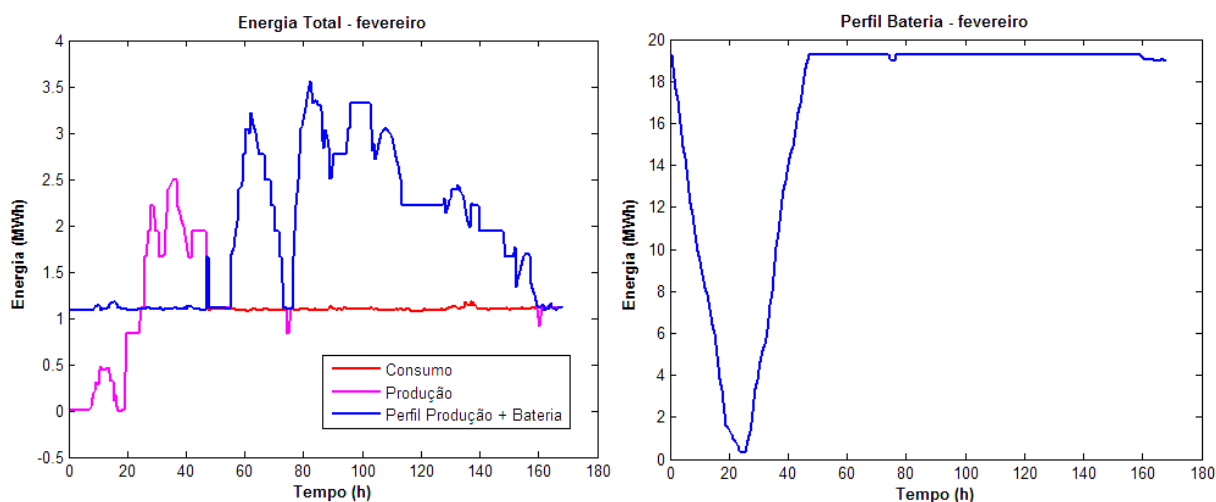


Figura 6.10 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 100%, para a semana de fevereiro.

Para a **semana de março**, registou-se uma necessidade de 20 MWh de energia. Na figura 6.11 pode-se verificar que todos os consumos são supridos a cada instante. Pode-se ainda verificar que sempre que a produção, linha a rosa, é inferior ao consumo, linha a vermelho, a bateria inicia a descarga. Quando a produção passa a ser superior ao consumo a bateria começa a carga, armazenando a energia em excesso. Quando a bateria atinge o seu valor máximo, não consegue armazenar mais energia e, portanto, toda a produção em excesso será energia perdida.

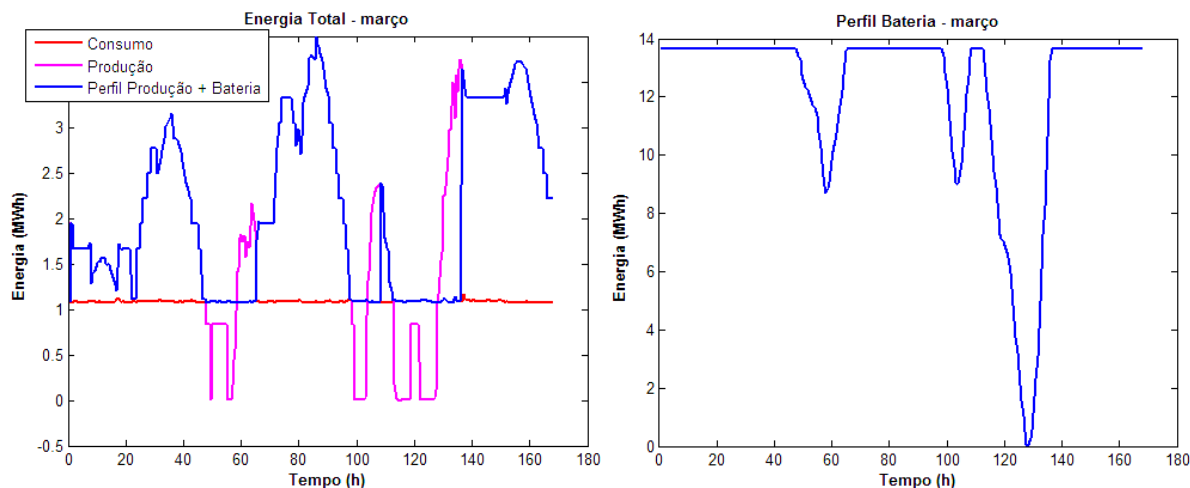


Figura 6.11 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 100%, para a semana de março.

Na **semana de novembro**, registou-se uma necessidade de energia de 25 MWh, conseguindo suprir todos os consumos a cada instante. Na figura 6.12 pode-se verificar que logo nos primeiros instantes, como a produção é inferior ao consumo, a bateria inicia a sua descarga. Verifica-se ainda que, à semelhança das semanas anteriores, sempre que a bateria atinge o máximo de carga, não consegue armazenar mais energia e, portanto, toda a produção em excesso nesses instantes será energia perdida.

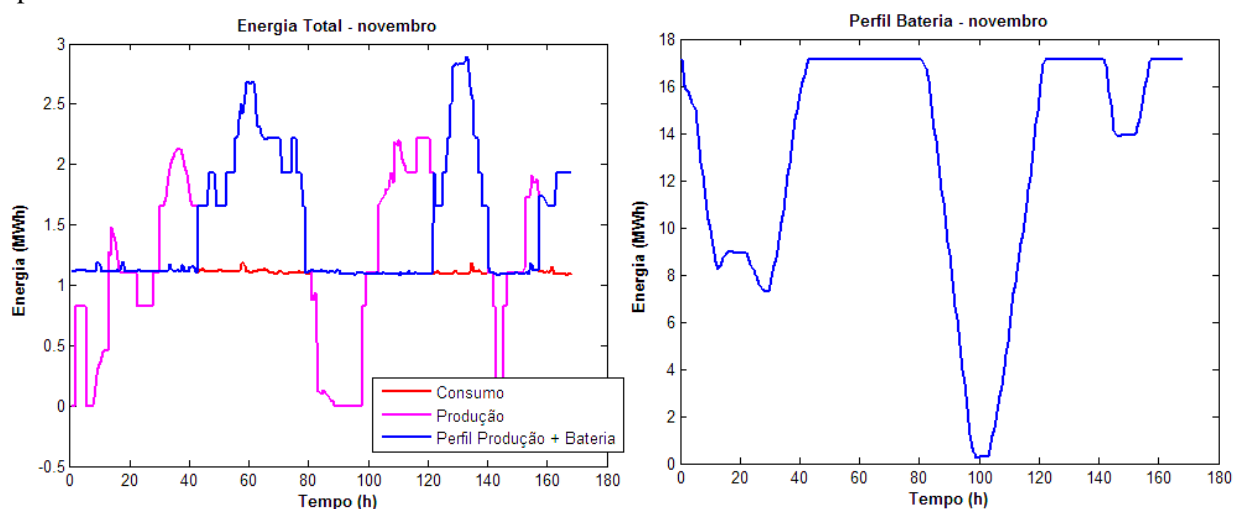


Figura 6.12 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 100%, para a semana de novembro.

Influência da Carga da Bateria

Após calculada a energia de banco de baterias necessário, considerando a bateria com 100% de carga no primeiro instante, foi estudada a influência que a carga inicial das baterias tinha sobre o perfil final. Para tal foram consideradas três hipóteses: a bateria totalmente carregada (considerada inicialmente e cujos resultados foram demonstrados anteriormente), a bateria a meia carga (50%), e a bateria sem carga (0%). Na tabela 6.4 encontra-se registados os valores de energia necessária para cada semana tendo em conta cada estado da bateria.

Tabela 6.4 - Energia de banco de baterias necessária tendo em conta o estado de carga da bateria.

		julho	fevereiro	março	novembro
Energia (MWh)	100% carga bateria	109	28	20	25
	50% carga bateria	109	55	20	28
	0% carga bateria	Não supre os consumos	Não supre os consumos	20	Não supre os consumos

Foi possível verificar que, quando considerado 0% de carga no momento inicial, apenas na semana de março todos os consumos são supridos a cada instante. Nas restantes semanas tal não ocorre uma vez que logo nos primeiros instantes a produção é superior ao consumo, também visível nas figuras 6.10 e 6.12. Relativamente à semana de julho, apresenta-se a figura 6.13, onde se pode verificar que ocorre a mesma situação, a produção é inferior ao consumo.

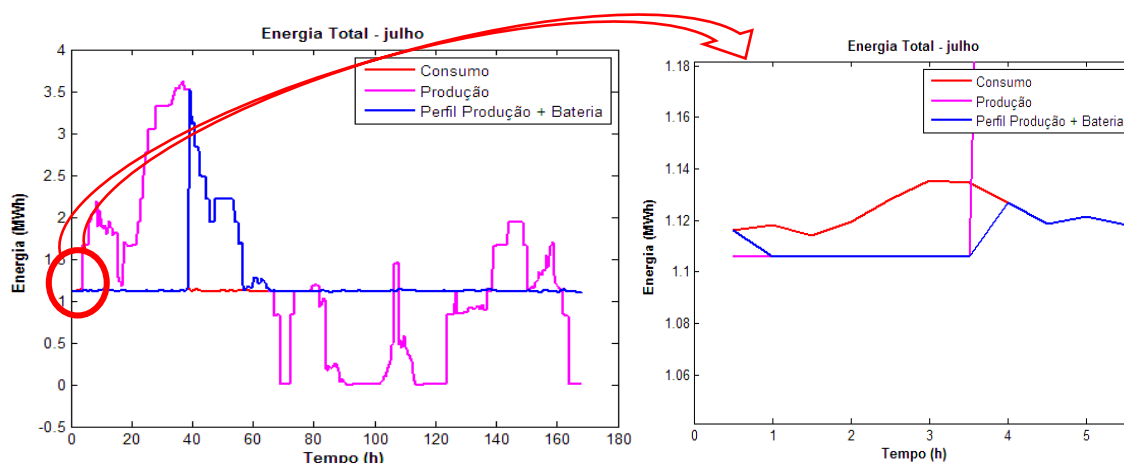


Figura 6.13 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 0%, para a semana de julho

Número de Baterias Necessária

Conhecendo a energia necessária para cada semana e considerando os resultados para um cenário em que a bateria tem 100% de carga no primeiro e último instante, calculou-se o número de baterias necessário para cada semana utilizando a equação 6.1. Para tal ainda se considerou que cada banco de baterias teria 10MW, potência máxima que um banco de bateria redox de vanádio poderá tomar (capítulo 4 - armazenamento de energia), cuja capacidade é de 50MWh [32].

$$\text{Número de baterias} = \frac{\text{Energia}_{\text{necessária}} (\text{MWh})}{\text{Capacidade}_{\text{bateria}} (\text{MWh})} \quad (6.1)$$

Tabela 6.5 - Energia de bateria necessária e respectivo número de baterias para cada semana e para a província

	Julho	Fevereiro	Março	Novembro
Energia necessária de baterias (MWh) com carga a 100%	109	28	20	25
Número de baterias	3	1	1	1

7. Conclusões

Este estudo surgiu da intenção de desenvolver e analisar um conjunto de cenários em que fosse possível analisar se a produção renovável produzida a partir de fotovoltaica e eólica, seria suficiente para suprir os consumos reais de uma localidade no Japão.

As fontes de energia renovável têm ganho mais relevo, não só por questões ambientais, mas também económicas, levando ao aumento da independência dos países com o exterior. No entanto, a integração de energia renováveis em elevada escala levanta alguns problemas, uma vez que as mesmas podem ser muito variáveis no tempo como a eólica ou podem ter produções de perfil diário como a fotovoltaica. De forma a ultrapassar estes problemas, e de forma a criar uma maior estabilidade e segurança na rede, tem-se utilizado e estudado formas de poder armazenar a energia em excesso para utilização em períodos de maior necessidade, nomeadamente em baterias.

Neste contexto, e recorrendo a um motor de modelação MatLab, foi possível simular diversos cenários com e sem a utilização dos sistemas de armazenamento.

Numa primeira instância criou-se o cenário 1, considerando um sistema fotovoltaico e uma turbina eólica de 11kW por casa. Considerou-se ainda que todas as casas da província tinham um consumo e uma produção eólica de fotovoltaica à casa selecionada. Este cenário mostrou-se inviável uma vez que não conseguia suprir os consumos a cada instante, no entanto foi verificado que, em termos totais, o excesso é superior ao défice em cada semana. De forma a que os consumos possam ser supridos a cada instante foi analisada a introdução de um sistema de armazenamento de energia criando-se o sub-cenário 1.A– adição de baterias.

No cenário 1.A, selecionaram-se as baterias redox de vanádio e considerou-se uma eficiência das mesmas de 70%. Ainda se considerou que a bateria no primeiro e último instante está a 100% de carga.

Para a semana de julho registou-se uma necessidade de energia de 109MWh. O valor é elevado pois o défice concentra-se na segunda parte da semana, sendo que a bateria nesses instantes armazena toda a energia excedente. Nesta semana ainda se verificou necessidade de ligação à rede elétrica de forma a que a bateria, no último instante, atinja os 100% de carga. Para a semana de fevereiro registou-se uma necessidade de 28MWh. Nesta semana o défice concentra-se nos primeiros instantes da semana. Para a semana de março houve uma necessidade de 20MWh. Pode-se observar que o défice está espaçado ao longo da semana. Para a semana de novembro houve uma necessidade de 25MWh. Verificou-se que o défice ocorre logo nos primeiros instantes. Em todas as semanas pode-se observar que sempre que a bateria atinge o seu valor máximo de carga, a energia produzida em excesso não pode ser armazenada e, portanto, será energia perdida.

Após o cálculo da energia de banco de baterias necessário, considerando a bateria com 100% de carga no primeiro instante, foi estudada a influência que a carga inicial das baterias tinha sobre o perfil final. Para tal foram consideradas três hipóteses: a bateria totalmente carregada (considerada inicialmente e cujos resultados foram mencionados anteriormente), a bateria a meia carga (50%), e a bateria sem carga (0%).

Para uma carga inicial de 50%, registou-se uma necessidade de 109MWh para julho, 55MWh para fevereiro, 20MWh para março e 28MWh para novembro.

Para uma carga inicial de 0%, registou-se um valor de 20MWh para a semana de março, suprimindo todos os consumos a cada instante. Para as restantes semanas, julho, fevereiro e novembro, não se conseguiu suprir todos os consumos a cada instante uma vez que logo nos primeiros instantes existe défice, e como a bateria está a 0% de carga, os consumos não conseguem ser supridos.

Após o cálculo da energia necessária para cada semana, e considerando os resultados para um cenário em que a bateria tem 100% de carga no primeiro e último instantes e uma potência máximo de banco de baterias de 10MW, calculou-se o número de baterias necessário para cada semana. Assim obteve-se para a semana de julho uma necessidade de 3 baterias, para a semana de fevereiro 1 baterias, para a semana de março 1 baterias e para a semana de novembro 1 baterias.

Conclui-se assim que, para um cenário em que se considera apenas fotovoltaico e eólica, com auxílio de baterias, é possível suprir os consumos a cada instante.

7.1. Limitações e Trabalho Futuro

Ao longo deste trabalho encontram-se algumas limitações no qual se procedeu a simplificações a fim de as contornar. Dessas limitações destacam-se: (1) dificuldade de acesso a dados de velocidade do vento no Japão com uma resolução adequada, tendo-se efetuado uma interpolação linear de forma a aumentar o número de dados.

Futuramente seria interessante fazer uma análise ao nível das 553 casas, estudando assim a variação que se pode encontrar de casa para casa, efetuando uma agregação de consumos e produção fotovoltaica.

Seria também interessante efetuar um estudo ao longo de todo o ano e não selecionando apenas semanas como se fez nesta dissertação. Para tal seria importante ter acesso a dados de velocidade de vento medidos para o Japão e com uma resolução, se possível, inferior a 30 minutos.

Um outro estudo interessante seria adicionar uma análise de custos, nomeadamente com a adição de diferentes tipos de baterias.

8. Referências Bibliográficas

- [1] International Energy Authority, “World Energy Outlook 2004,” *Electron. Power*, vol. 23, no. 4, p. 577, 2004.
- [2] Zachary Davies Boren, “Four things we learned from Bloomberg’s 2015 New Energy Outlook,” *EnergyDesk*. [Online]. Available: <http://energydesk.greenpeace.org/2015/06/23/four-things-we-learned-from-bloombergs-2015-new-energy-outlook/>.
- [3] Iea, “Medium-Term Renewable Energy Market Report 2013 Market trends and projections to 2018,” p. 217, 2013.
- [4] “Renewable Energy for Japan: A Post-Fukushima Quest - Knowledge@Wharton,” *University of Pennsylvania*, 2013. [Online]. Available: <http://knowledge.wharton.upenn.edu/article/renewable-energy-japan-post-fukushima-quest/>.
- [5] Junko Eda Hiro, “Renewable Energy in Japan -- Current Trends Show Promise and Opportunities | Japan for Sustainability,” *JFS Newsletter No.135*, 2013. [Online]. Available: http://www.japanfs.org/en/news/archives/news_id034505.html.
- [6] Junko Eda Hiro, “A Post Fukushima Quest,” *JFS Newsletter No.135*, 2013. [Online]. Available: http://www.japanfs.org/en/news/archives/news_id034505.html.
- [7] “Japão busca fontes mais seguras — Revista Em Discussão!” [Online]. Available: <http://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/o-desafio-da-energia/mundo/japao-busca-fontes-mais-seguras>.
- [8] “Japão entende a energia solar como melhor opção após desastre nuclear de Fukushima.” [Online]. Available: <http://www.ecoeficientes.com.br/japao-entende-a-energia-solar-como-melhor-opcao-apos-desastre-nuclear-de-fukushima/>.
- [9] Junko Movellan, “Japan’s Long-term Energy Plan Shoots for Ultimate Balance in Economics, Environment and Safety,” *Renewable Energy World*, 2015. [Online]. Available: <http://www.renewableenergyworld.com/articles/2015/07/japans-long-term-energy-plan-shoots-for-ultimate-balance-in-economics-environment-and-safety.html>.
- [10] “Download free solar resource maps,” *Solargis*. [Online]. Available: <http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/japan>.
- [11] “Portal das Energias Renováveis,” *Solar*. [Online]. Available: http://energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=47&ID_area=8&ID_sub_area=27.
- [12] “Weather and Climate in Japan,” *World Weather & Climate Information*. [Online]. Available: <https://weather-and-climate.com/average-monthly-Rainfall-Temperature-Sunshine-in-Japan>.
- [13] “A. Estanqueiro, “Energia Eólica: A Evolução Histórica da Tecnologia” Lisboa, 2011/12.
- [14] “Japan - Production capacities,” *The Wind Power*, 2016. [Online]. Available: http://www.thewindpower.net/country_en_11_japan.php.
- [15] Hironao Matsubara, “Future perspective and current status of wind energy in Japan after Fukushima,” *Energy Democracy*, 2014. [Online]. Available: <http://www.energy-democracy.jp/410>.
- [16] Chisaki Watanabe, “GE Says Japan Has More Potential to Harness Wind Power,” *Bloomberg*, 2014. [Online]. Available: <http://www.bloomberg.com/news/articles/2014-02-26/ge-says-japan-has-more-potential-to-harness-wind-energy>.
- [17] “Fukushima Offshore Wind Consortium,” 2016. [Online]. Available: <http://www.fukushima->

- forward.jp/english/index.html.
- [18] “Japan - Wind Farms,” The Wind Power. [Online]. Available: http://www.thewindpower.net/country_maps_en_11_japan.php.
 - [19] “A. Estanqueiro, “Redes de Distribuição de Energia. Tema F - Armazenamento de Energia,” Lisboa, 2014.
 - [20] “Energy Storage Technologies | Energy Storage Association.” [Online]. Available: <http://energystorage.org/energy-storage/energy-storage-technologies>.
 - [21] “Flow batteries get popular... again (Part 1) - Fully Charged - Blogs - TI E2E Community.” [Online]. Available: https://e2e.ti.com/blogs_/b/fullycharged/archive/2013/09/20/flow-batteries-get-popular-again-part-1.
 - [22] “Vanadium Redox (VRB) Flow Batteries | Energy Storage Association.” [Online]. Available: <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/vanadium-redox-vrb-flow-batteries>.
 - [23] “Bateria de fluxo orgânica é nova promessa da energia renovável.” [Online]. Available: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=bateria-de-fluxo-organica&id=010115140121#.WGqIXvmLTIU>.
 - [24] “Smart Grid Battery: Redox Flow Battery.” [Online]. Available: <https://www.betterworldsolutions.eu/smart-grid-battery-redox-flow-battery/>.
 - [25] “Largo Resources Ltd. - Sobre Nós - Sobre O Vanádio - Baterias.” [Online]. Available: <http://www.largoresources.com/Portuguese/sobre-nos/sobre-o-vanadio/baterias/default.aspx>.
 - [26] P. T. Josai-no-mori, “Japan : Pal Town Josai-no-Mori Building owner : Inhabitant,” pp. 33–34, 2006.
 - [27] Woodrow W. Clark II, “Sustainable Communities,” Springer Science & Business Media, 2010. [Online]. Available: https://books.google.pt/books?id=UoZMS9sZhV4C&pg=PA250&lpg=PA250&dq=Pal+Town+Josai-no-Mori&source=bl&ots=LfEqJ3DxOV&sig=msaAOTgiyAXqr4Zfi_CEZMUge6Y&hl=pt-PT&sa=X&ved=0ahUKEwjw5Oil4_OAhVLOxoKHZf7C_sQ6AEIJzAB#v=onepage&q=Pal+Town+Josai-no-Mori&f=false.
 - [28] N. Energy, “Disclosure of Data obtained in Ota site New Energy and Industrial Technology Development Organization,” no. June, 2009.
 - [29] “Renewables.ninja.” [Online]. Available: <https://www.renewables.ninja/>.
 - [30] “Linear interpolation.” [Online]. Available: <http://www.eng.fsu.edu/~dommelen/courses/eml3100/aids/intpol/>. [Accessed: 02-Jan-2017].
 - [31] Intelligent Energy - Europe, “Catalogue of European Urban Wind Turbine Manufacturers,” p. 23, 2005.
 - [32] “Full Product Range Modular Energy Storage Combine multiple systems from the table below to create systems ranging from kW to MW scale,” vol. 44, no. 0, p. 92432.

Anexos

Gráficos de avaliação de PV

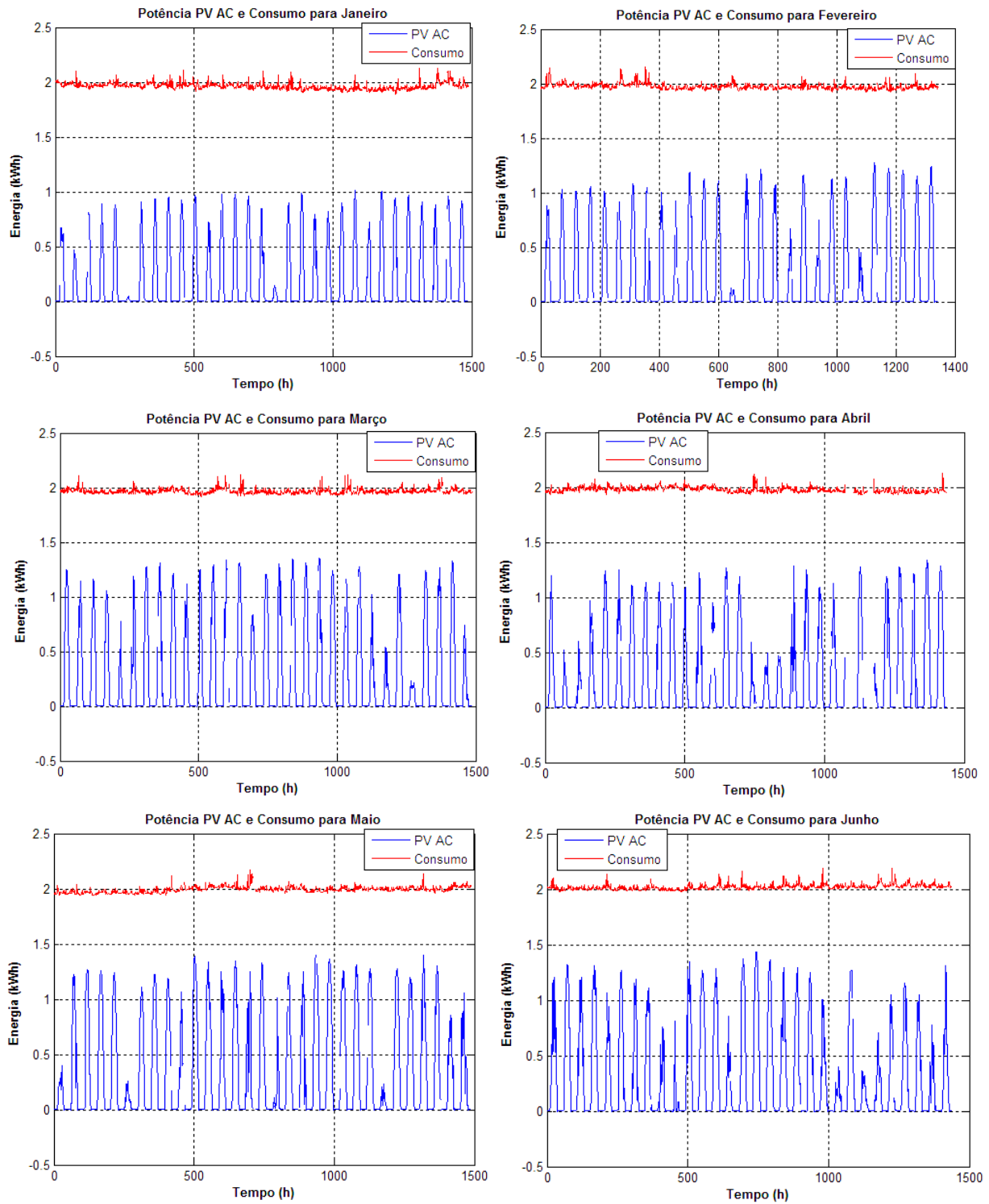


Figura 0.1 - Perfil consumo, PV AC e PV DC, de janeiro a junho.

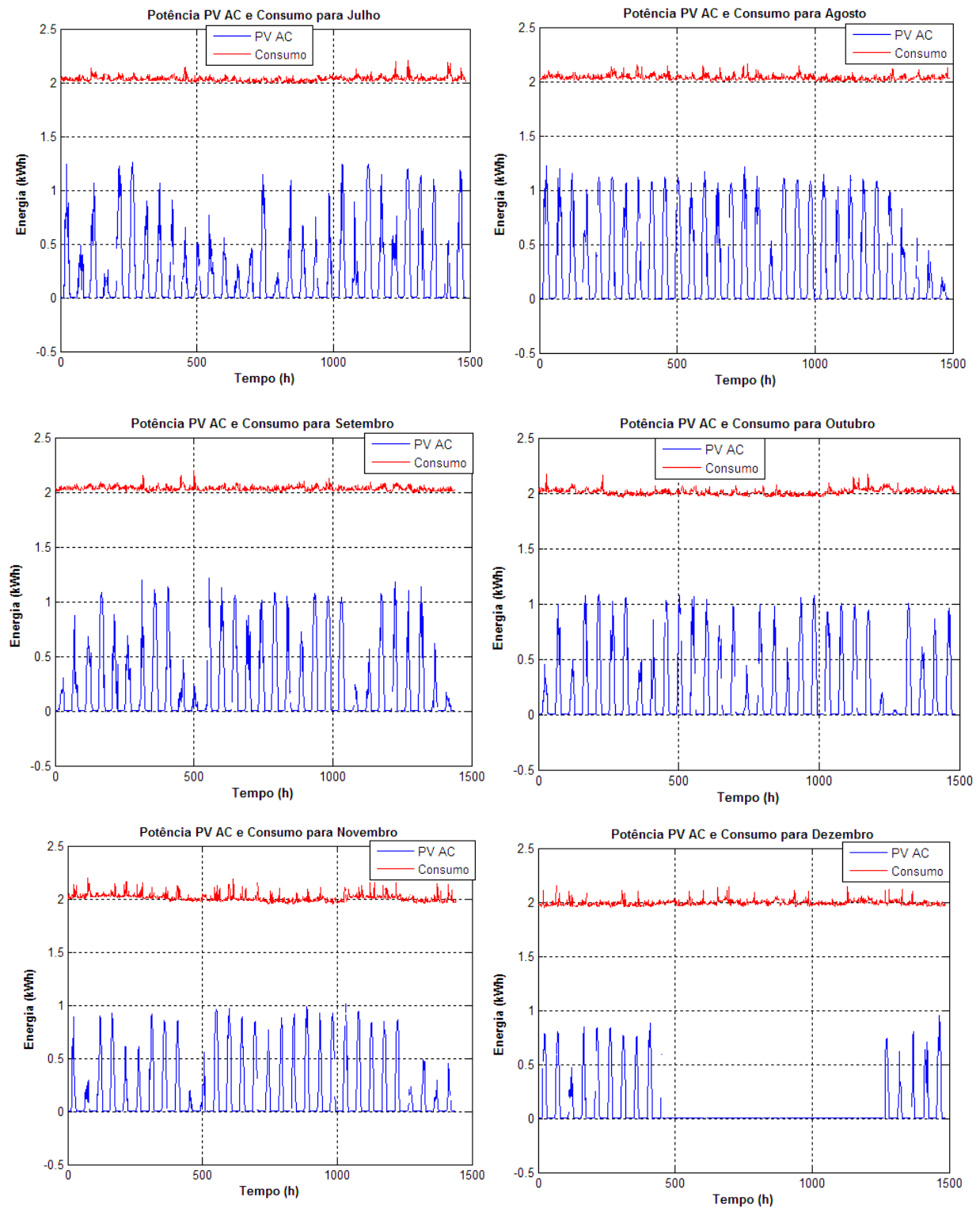


Figura 0.2 - Perfil consumo, PV AC e PV DC, de julho e dezembro.

Avaliação da Carga da Bateria

No cenário 1.A, foi estudada a influência que a carga inicial das baterias tinha sobre o perfil final. Para tal foram consideradas três hipóteses: a bateria totalmente carregada (considerada no cenário e cujos resultados são apresentados no capítulo 6), a bateria a meia carga, e a bateria sem carga. Na tabela 6.4 encontra-se registados os valores de energia necessária para cada semana tendo em conta cada estado da bateria. De seguida apresentam-se os perfis para as restantes cargas consideradas.

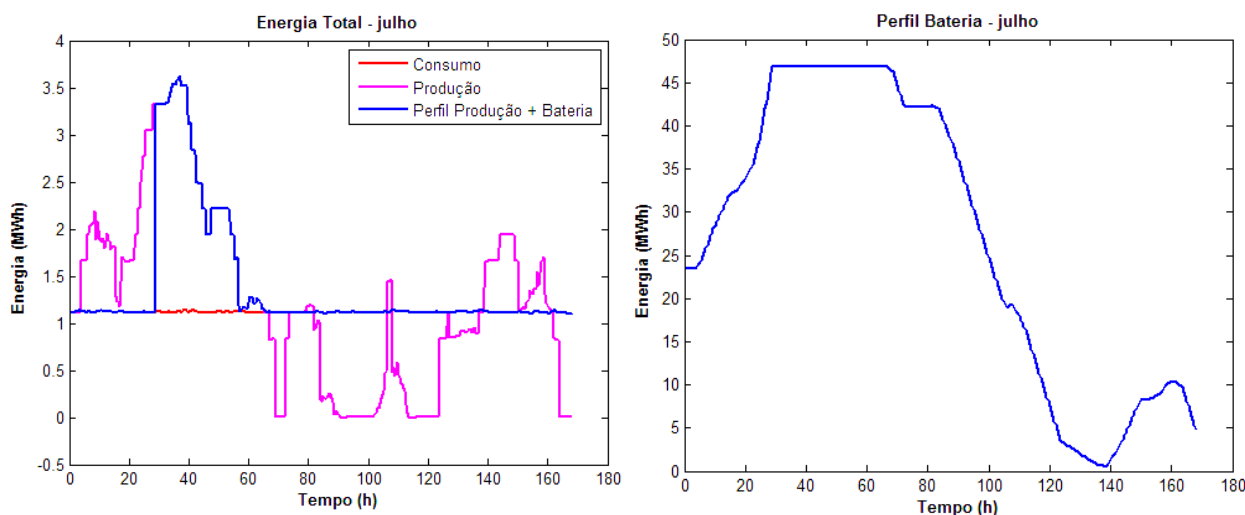


Figura 0.3 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 50%, para a semana de julho.

Para um cenário com 50% de carga, na semana de julho, os consumos são supridos a cada instante.

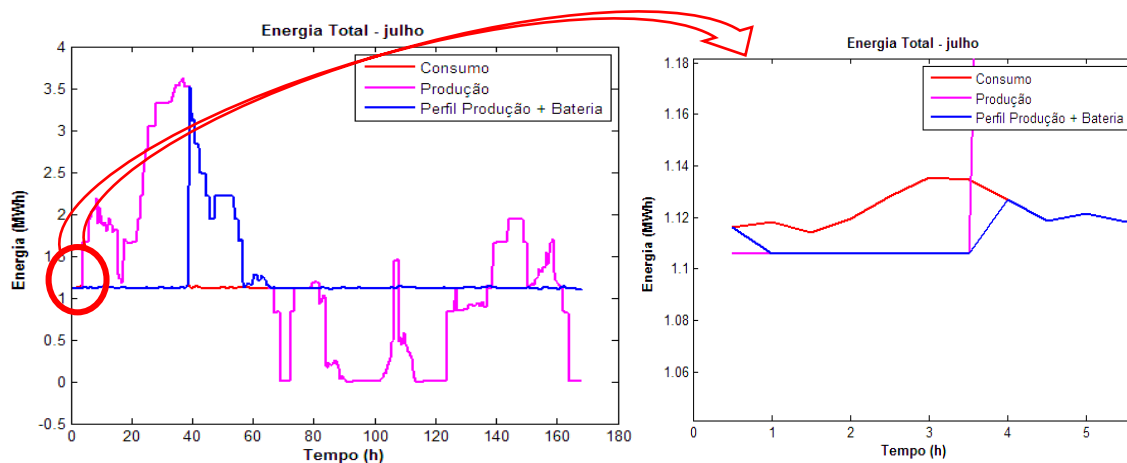


Figura 0.4 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 0%, para a semana de julho.

Quando se considera que no momento inicial a bateria tem 0% de carga, os consumos não são supridos, pois logo nos primeiros instantes a produção é inferior ao consumo.

Para a semana de fevereiro, os consumos são supridos a cada instante quando se considera que a bateria tem 50% de carga no instante inicial, figura 0.5. No entanto quando se considera que a bateria tem 0% de carga, figura 0.6, os consumos não são supridos em todos os instantes uma vez que, logo nos primeiros instantes, a produção é inferior ao consumo.

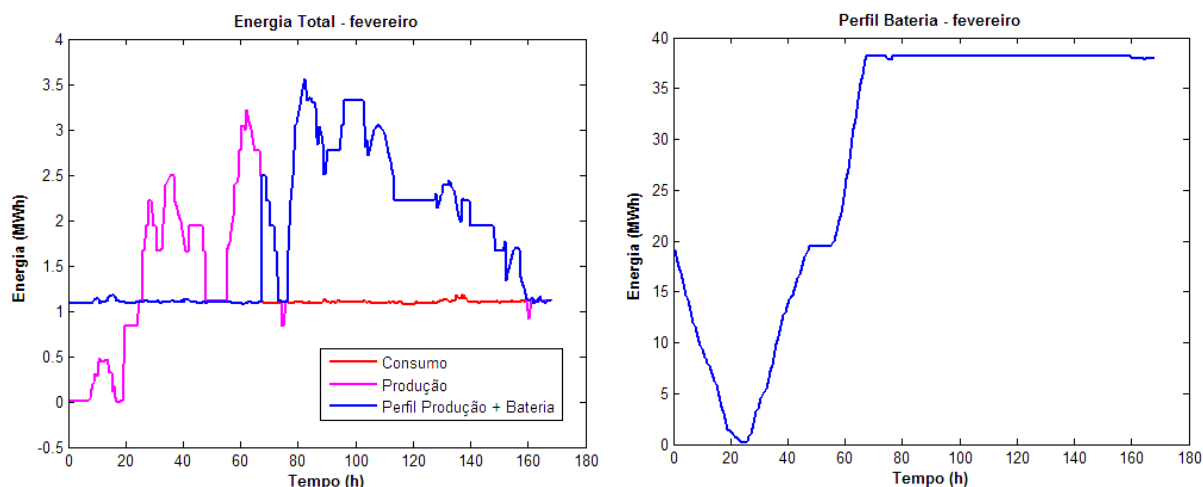


Figura 0.5 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 50%, para a semana de fevereiro.

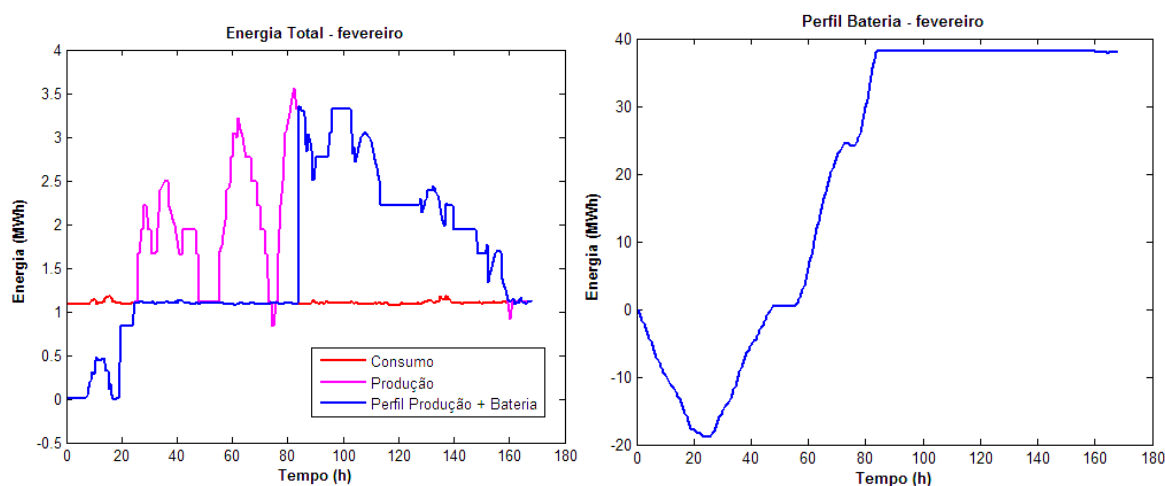


Figura 0.6 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 0%, para a semana de fevereiro.

Para a semana de março todos os consumos são supridos a cada instante, tanto para um cenário com 50% de carga como para um cenário com 0% de carga inicial, figuras 0.7 e 0.8.

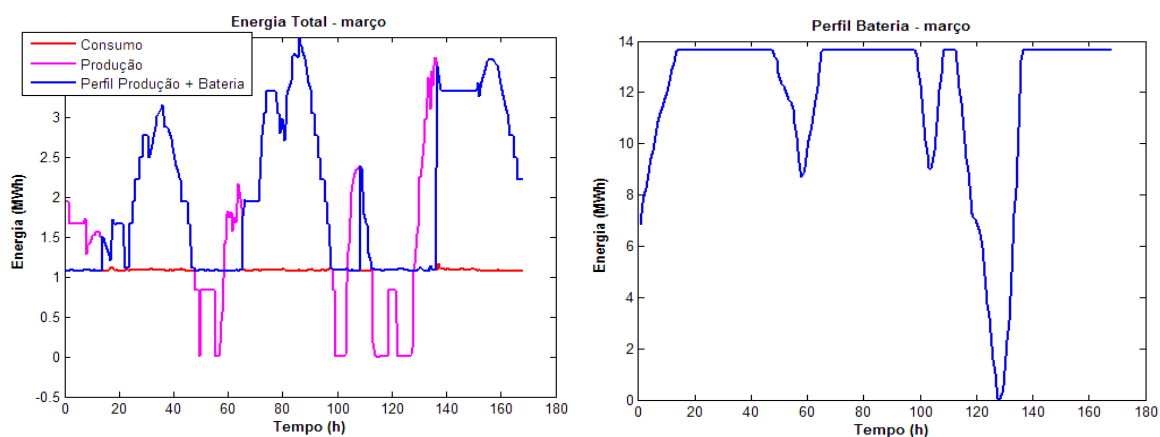


Figura 0.7 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 50%, para a semana de março.

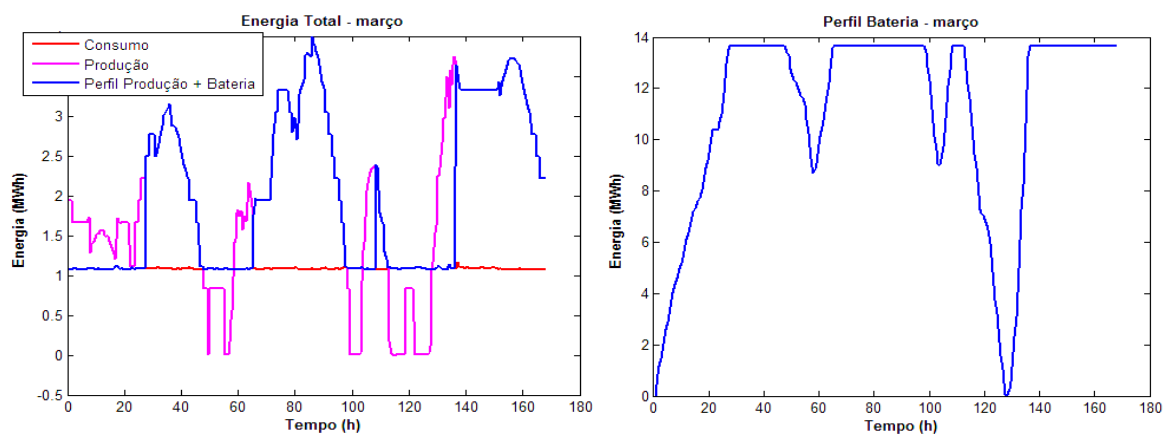


Figura 0.8 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 0%, para a semana de março.

Para a semana de novembro, e considerando uma carga inicial de 50%, todos os consumos são supridos a cada instante, figura 0.9. Para um cenário em que se considerou que a carga inicial era de 0% para a mesma semana, os consumos não foram supridos uma vez que logo nos primeiros instantes a produção é inferior ao consumo.

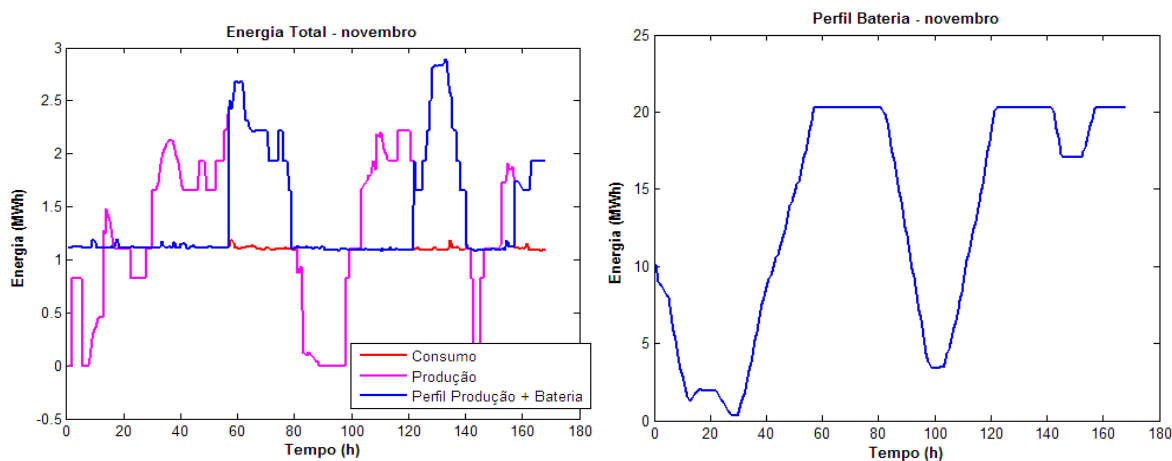


Figura 0.9 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 50%, para a semana de novembro.

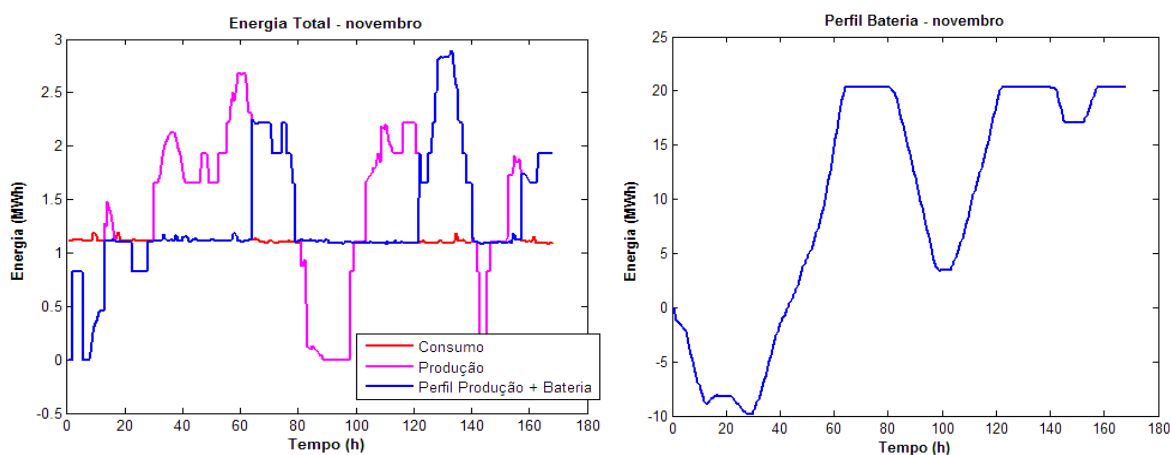


Figura 0.10 - Perfil final com suporte de baterias à esquerda e perfil da bateria ao longo do tempo à direita, com a carga inicial da bateria de 0%, para a semana de novembro.